

# Capítulo 20 En Resumen

Impulsores e impactos de los cambios en ecosistemas acuáticos



Pescadores vendem peixes frescos em suas canoas, no centro de Manaus (Foto: Bruno Kelly/Amazônia Real)



**THE AMAZON WE WANT**  
Science Panel for the Amazon

# Impulsores e impactos de los cambios en ecosistemas acuáticos

*Philip M. Fearnside<sup>a</sup>, Dolores Armenteras<sup>b</sup>, Erika Berenguer<sup>c</sup>, Fabrice Duponchelle<sup>d</sup>, Federico Mosquera Guerra<sup>e</sup>, Clinton N. Jenkins<sup>f</sup>, Paulette Byone<sup>g</sup>, Roosevelt García-Villacorta<sup>h</sup>, Adalberto Luis Val<sup>a</sup>, Vera Maria Fonseca de Almeida-Val<sup>l</sup>, Nathália Nascimento<sup>i</sup>*

## Mensajes clave y recomendaciones

- 1) En las últimas cuatro décadas, y sobre todo en las dos últimas, muchos ecosistemas acuáticos Amazónicos se han vuelto menos conectados y más contaminados. Hay que prestar atención urgente a la creación de áreas acuáticas protegidas, ya que la mayoría de las áreas protegidas existentes fueron diseñadas para salvaguardar los ecosistemas terrestres y, por lo general, hacen poco para conservar la biota acuática.
- 2) Antes de los impactos masivos de la construcción de represas en las últimas cuatro décadas, la sobreexplotación de especies vegetales y animales era el motor más importante de la degradación de los ecosistemas acuáticos en la cuenca Amazónica. Esta degradación sigue avanzando. Los recursos acuáticos requieren acuerdos de cooperación para gestionar su uso de forma sostenible, incluida la exclusión de los buques de pesca externos, y la aplicación de restricciones a la sobreexplotación.
- 3) Las represas hidroeléctricas bloquean la migración de los peces y el transporte de agua, sedimentos y nutrientes asociados. También alteran los caudales de los ríos y los niveles de oxígeno.

- Las represas con una capacidad instalada superior a 10 MW no deberían seguir construyéndose. Las "micro" represas, diseñadas para abastecer de energía a una sola ciudad o pueblo, pueden construirse con la debida licencia ambiental y estrategias basadas en el riesgo. Mientras tanto, la política energética debería dar prioridad a la conservación de la electricidad, detener las exportaciones de productos con alto consumo de electricidad y reorientar la inversión hacia la generación eólica y solar.
- 4) Es necesario preservar determinadas cuencas hidrográficas en toda la Amazonía para la investigación, el seguimiento a largo plazo y la protección de la diversidad genética y de especies. Estas cuencas también pueden mantener comunidades ecológicas para iniciativas de recuperación.

**Resumen** Los ecosistemas acuáticos Amazónicos están siendo destruidos y se prevé que las amenazas a su integridad aumenten en número e intensidad. Aquí presentamos algunos de los principales impactos sobre los ecosistemas acuáticos desencadenados por los proyectos de infraestructura y las prácticas depredadoras e ilegales.

<sup>a</sup> Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Av. André Araújo 2936, Petrópolis, Manaus AM 69067-375, Brasil, [pmfearn@inpa.gov.br](mailto:pmfearn@inpa.gov.br)

<sup>b</sup> Ecología del Paisaje y Modelación de Ecosistemas ECOLMOD, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Colombia

<sup>c</sup> Environmental Change Institute, School of Geography and the Environment, University of Oxford, OX1 3QY, Oxford, UK; Lancaster Environment Centre, Lancaster University, LA1 4YQ Lancaster, Reino Unido

<sup>d</sup> Institut de Recherche pour le Développement, 44 bd de Dunkerque, Immeuble Le Sextant CS 90009, F-13572 Marseille cedex 02, Francia

<sup>e</sup> Fundación Omacha, Carrera 20 N° 133 – 32, barrio La Calleja, Bogotá DC, Colombia

<sup>f</sup> Florida International University, 11200 SW 8th Street, Miami FL 33199, EE. UU.

<sup>g</sup> University of Guyana, Turkeyen Campus, Greater Georgetown, Guyana

<sup>h</sup> Centro Peruano para la Biodiversidad y Conservación (CPBC), Iquitos, Perú; Department of Ecology and Evolutionary Biology, Cornell University, E145 Corson Hall, Ithaca NY 14853, EE. UU.

<sup>i</sup> Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Instituto de Estudos Climáticos, Vitória, Espírito Santo, Brazil

**Introducción** El río Amazonas vierte anualmente 6,6 billones de m<sup>3</sup> de agua dulce a los océanos y entre 600 a 800 millones de toneladas de sedimentos en suspensión<sup>1</sup>. La biodiversidad acuática del Amazonas es relevante a nivel mundial. Hasta ahora se han descrito 2.406 especies de peces<sup>2</sup> (véase también el capítulo 3), aunque es probable que el número real supere las 3.000 especies<sup>3</sup>. Los ríos y arroyos Amazónicos también conectan partes distantes de la vasta cuenca Amazónica, cruciales para la migración de los peces y el flujo de sedimentos. Sin embargo, estos sistemas son frágiles y los impactos que se originan en un lugar determinado pueden sentirse a miles de kilómetros de distancia. A continuación enumeramos algunas de las principales amenazas a las que se enfrentan los ecosistemas acuáticos Amazónicos, junto con sus impactos más importantes. En toda la Amazonía hay 307 represas hidroeléctricas en operación y 239 planeadas, que van desde 1 MW de capacidad instalada hasta algunas de las mayores del mundo, como Belo Monte y Tucuruí (Figura 20.1)<sup>4,5</sup>.

### Impacto de las represas

*Comunidades de peces* Las represas hidroeléctricas tienen un impacto negativo en las comunidades de peces, tanto por encima como por debajo del embalse, debido a la pérdida de hábitat y la desconexión, y a los graves cambios en los regímenes hidrológicos de los bosques inundados<sup>6-9</sup>. La conversión de un tramo de río de agua corriente (lótica) a agua quieta (léntica) elimina o reduce en gran medida muchas especies, pocas de las cuales están adaptadas al nuevo entorno<sup>10</sup>. Las comunidades de peces pasan a ser estructural y funcionalmente diferentes de las que había antes de la represa<sup>11-13</sup>. Las represas amazónicas y sus inefectivos pasos para peces ya han alterado seriamente las rutas de migración de muchas especies de peces, como el "bagre gigante" del río Madeira (*Brachyplatystoma spp.*).

*Mamíferos acuáticos, reptiles e insectos* Las represas pueden fragmentar las poblaciones de delfines, anfibios y reptiles. Esto interrumpe el flujo genético y puede dar lugar a poblaciones pequeñas y vulnerables<sup>14,15</sup>. Una serie de represas planeadas son particularmente amenazantes para las tortugas<sup>16</sup>, porque las playas donde éstas ponen sus huevos suelen ser inundadas por los embalses o cuando las represas alteran los caudales aguas abajo<sup>17</sup>. Los impactos de las represas sobre los insectos acuáticos varían; las especies dependientes de aguas corrientes disminuyen su abundancia, mientras que otras que se reproducen en aguas estancadas, como los mosquitos, pueden sufrir explosiones poblacionales<sup>18,19</sup>.

*Emisiones de gases de efecto invernadero* Las represas Amazónicas contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero de dos formas fundamentales: (1) el metano se produce en los embalses estratificados, y (2) el CO<sub>2</sub> es liberado por la descomposición de árboles muertos por inundaciones<sup>20-23</sup>. La gran cantidad de biomasa inicial que se pierde cuando se inunda un embalse (que es especialmente alta en los bosques tropicales), además de la presencia de fracciones lábiles de carbono fácilmente oxidable en el suelo, hace que los embalses jóvenes sean más emisores que los más antiguos<sup>24</sup>. Además, los árboles cercanos a los bordes de los embalses sufren el estrés de los niveles freáticos más altos, lo que provoca una mortalidad adicional y emisiones de CO<sub>2</sub><sup>25-27</sup>.

*Alteración de los flujos de sedimentos* Las represas reducen los flujos de sedimentos al atraparlos en los embalses<sup>28</sup> y al cambiar el ciclo hidrológico natural. Aguas abajo de las represas, la reducción de la carga de sedimentos provoca la socavación o el aumento de la erosión de las riberas y los fondos de los ríos<sup>29,30</sup>. La reducción de sedimentos también priva al río de nutrientes aguas abajo. En el río Madeira, el transporte de sedimentos aguas abajo de las represas Santo Antônio y Jirau se redujo en un 20% en

comparación con las cantidades previas a la represa<sup>31</sup>, lo que puede haber contribuido a las fuertes disminuciones observadas en las capturas de peces aguas abajo de las represas<sup>30,32</sup>. Los sedimentos, incluida la materia orgánica en suspensión, constituyen la base de las cadenas alimentarias acuáticas en la baja Amazonía<sup>33</sup>; Los sedimentos, incluida la materia orgánica en suspensión, constituyen la base de las cadenas alimentarias acuáticas en la baja Amazonía<sup>33</sup>; por lo tanto, es probable que las reducciones de cargas de sedimentos que se producen debajo de las represas andinas tengan consecuencias de gran alcance para los peces a lo largo de toda la longitud de los ríos Madeira y Amazonas<sup>34</sup>.

*Alteración de los caudales* Las represas pueden afectar cuatro parámetros hidrológicos aguas abajo: 1) la frecuencia y 2) la duración de niveles altos y bajos de agua (pulsos de inundación), y 3) la tasa y 4) la frecuencia de los cambios en los niveles de agua<sup>35</sup>. Otros impactos sobre los caudales se producen cuando el embalse se está llenando, de forma que los tramos de río situados aguas abajo se secan durante todo o parte del periodo de llenado. La represa Belo Monte ilustra este efecto; el flujo de agua se reduce en gran medida en un tramo de 130 km conocido como la "gran curva del río Xingu" (Volta Grande do Rio Xingu), ya que se desvía el 80% del flujo anual del río. Las modificaciones del régimen hidrológico afectan directamente la biodiversidad acuática. El comportamiento de los peces, especialmente la migración y la reproducción, está en sintonía con los cambios del caudal, y las falsas señales que provocan las represas pueden inducir a los peces a comportarse de manera que pongan en peligro su éxito reproductivo.<sup>36-41</sup>

**Carreteras** Las represas no son el único tipo de infraestructura que degrada, o incluso destruye, los sistemas acuáticos en la Amazonía; las carreteras también son una importante amenaza para estos ecosistemas. Las carreteras Amazónicas suelen construirse sin pasos adecuados para el agua, como

alcantarillas o puentes, fragmentando los pequeños afluentes y los arroyos estacionales. Las carreteras pueden actuar como represas, y su impacto sobre los arroyos estacionales es especialmente fuerte, ya que provocan estanques, bloquean el paso de la vida acuática e interrumpen la conectividad entre los arroyos.

**Vías navegables y desvíos fluviales** El mantenimiento de las vías navegables puede tener graves repercusiones en los ecosistemas acuáticos. Muchas especies de peces endémicos podrían extinguirse cuando se eliminan los hábitats rocosos mediante la dinamitación para permitir el paso sin obstáculos de embarcaciones<sup>42</sup>. Además de eliminar los afloramientos rocosos, el dragado de los canales fluviales ahonda las zonas poco profundas y elimina los restos leñosos<sup>43</sup>, lo que destruye hábitats ricos para una fauna de peces endémica específica<sup>44</sup>. Es poco probable que estas poblaciones se recuperen. En la Amazonía peruana, la recientemente contratada *Hidrovia Amazónica*<sup>45,46</sup> de unos 2.700 km podría alterar significativamente la morfología de los canales fluviales, afectando a la diversidad de peces y a la productividad de la que dependen las economías locales.

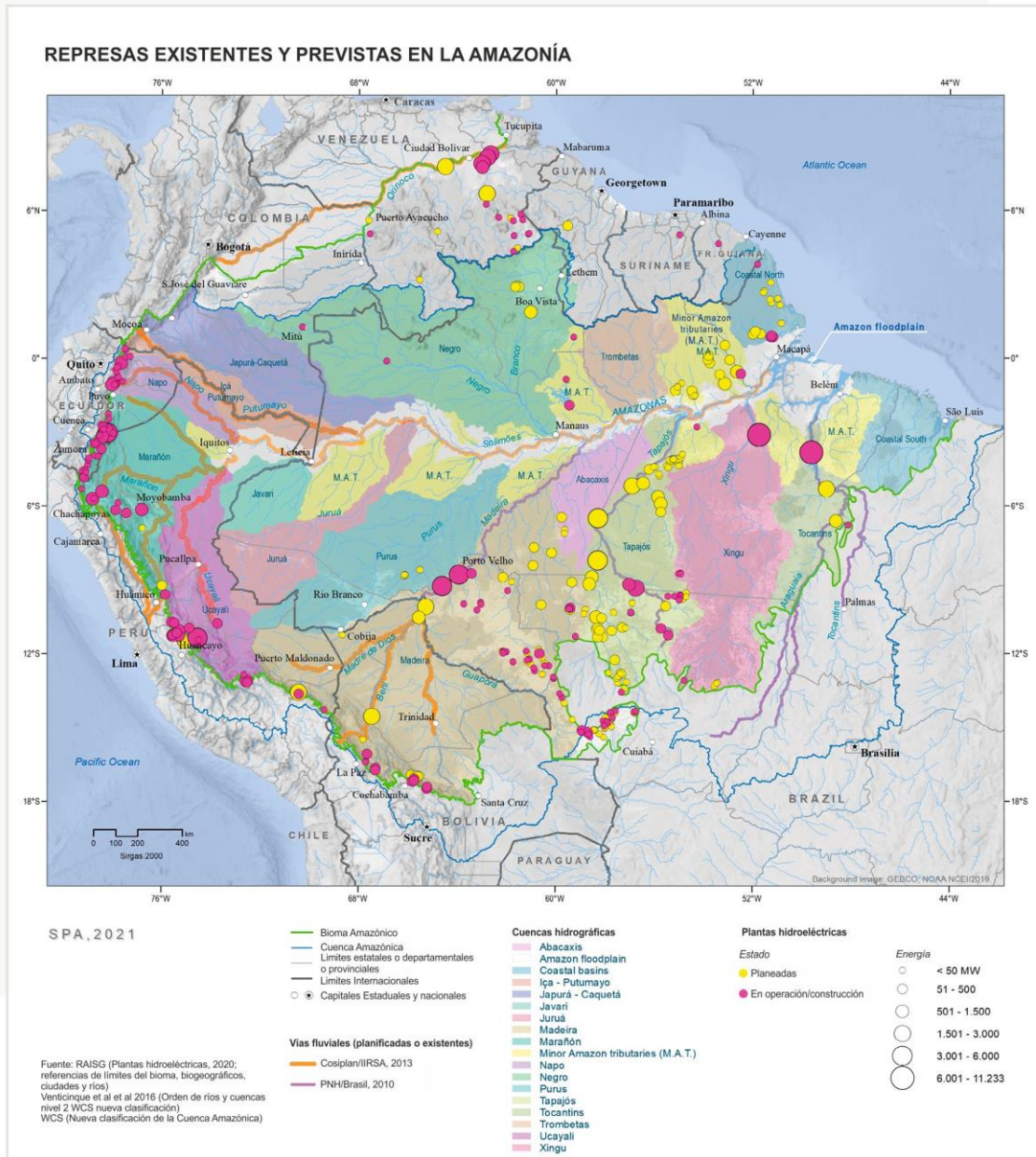


Figura 20.1 Represas hidroeléctricas existentes y previstas en la Amazonia<sup>4,5</sup>.

**Cosecha de peces para el consumo humano** La mayoría de las especies de peces de gran tamaño y valor, como el *pirarucú* gigante o *paiche* (*Arapaima spp.*) y el gran *tambaqui* o *gamitana*, que se alimenta de frutas, se consideran sobreexplotadas en sus áreas de distribución naturales<sup>47-50</sup>. Lo mismo ocurre con varias de las especies más pequeñas de Characiformes, como *Prochilodus nigricans* y *Psectrogaster spp.*<sup>51-53</sup>. Los peces migratorios son los más amenazados por la sobrepesca, ya que representan más del 90% de los desembarcos en la cuenca Amazónica y generan más de 400 millones de dólares en ingresos<sup>54</sup>.

**Ornamental peces** El comercio de peces de acuario es una industria creciente y multimillonaria<sup>55,56</sup>. Los peces son de los animales domésticos más populares del mundo<sup>57</sup>, y la captura de especies silvestres para el comercio internacional es un importante problema de conservación<sup>55,58,59</sup>. La cuenca del Amazonas representa aproximadamente el 10% del comercio mundial de peces ornamentales de agua dulce, siendo Brasil, Colombia y Perú los principales exportadores; en 2007, el valor total declarado (muy subestimado) de las exportaciones de estos tres países fue de unos 17 millones de dólares<sup>59</sup>. Sin embargo, los efectos del comercio de peces ornamentales en las poblaciones naturales están poco estudiados. La información anecdótica sugiere el colapso o la disminución de las poblaciones en algunos lugares del río Negro, como en el caso del disco (*Symphysodon discus*)<sup>61</sup> y el tetra cardenal (*Paracheirodon axelrodi*)<sup>55,62</sup>. En la Amazonía peruana, la explotación ha llevado a reducciones de más del 50% de las especies ornamentales en los lugares de estudio en términos de abundancia, diversidad y biomasa<sup>63</sup>.

**Especies invasoras** En la Amazonía, las especies invasoras se utilizan para la agricultura, el cultivo de especies ornamentales y la pesca recreativa<sup>64</sup>. Los peces introducidos en lagos y embalses suelen ser especies depredadoras (*Cichla spp.*, *Astronotus spp.* o

*Pygocentrus nattereri*), que se alimentan de las especies autóctonas y reducen su abundancia, lo que tiene consecuencias para todo el ecosistema, como la pérdida de hábitat, la interrupción de la vida de los peces autóctonos (muchas especies invasoras se comen los huevos de los peces autóctonos) y la competencia por el alimento, lo que provoca cambios en la composición de las especies y en las redes alimentarias<sup>65-69</sup>. En las aguas andinas de Bolivia y Perú, la introducción de la trucha arco iris depredadora (*Oncorhynchus mykiss*) provocó la extirpación local o una gran reducción de la abundancia del *Astroblepus spp.*<sup>70,71</sup>.

**Deforestación** La pérdida de bosques suele provocar un aumento de la escorrentía y la descarga de las lluvias. Por ejemplo, la deforestación indujo un aumento del 25% en la descarga en grandes sistemas fluviales como los ríos Tocantins y Araguaia, con pocos cambios en las precipitaciones<sup>72</sup>. El aumento de la escorrentía y la carga de sedimentos altera los procesos geomorfológicos y bioquímicos aguas abajo, con consecuencias para la erosión del suelo y la productividad biológica de los ecosistemas acuáticos<sup>72-76</sup>. La pérdida de la cubierta forestal también provoca la exposición directa al sol, reduciendo el enfriamiento evapotranspirativo y el flujo de calor sensible sobre la tierra, lo que provoca cambios en la temperatura, el oxígeno y el contenido químico de los cursos de agua, afectando en gran medida a la fauna acuática<sup>77</sup>. Por ejemplo, el aumento de la temperatura del agua y la reducción del oxígeno durante el periodo seco pueden ser letales para peces como el *tetras cardenal*<sup>78,79</sup>.

### Contaminación

**Productos químicos agrícolas** Los pesticidas, herbicidas, medicamentos y otros fármacos se liberan en el medio ambiente y su tiempo de permanencia es indeterminado. Los metales de transición y otros contaminantes presentes en los productos químicos

agrícolas pueden afectar a las especies de peces locales de forma diferente en función de su respiración, reproducción, posición trófica y características metabólicas<sup>80,81</sup>. Se ha demostrado que el herbicida glifosato (Roundup®) y el pesticida malatión causan daños metabólicos y celulares en los peces expuestos a niveles inferiores al 50% de sus concentraciones letales (LC<sub>50</sub>)<sup>82,83</sup>. También se ha detectado la presencia de pesticidas en delfines de río<sup>84,85</sup> y tortugas<sup>86</sup> Amazónicas. La expansión de la producción de soja en el sur de la Amazonía es especialmente preocupante para los ecosistemas acuáticos debido al fuerte uso de herbicidas, incluido el glifosato. Experimentos de laboratorio con peces han demostrado que éste y otros herbicidas causan daños en el hígado y las branquias, así como la rotura del ADN y un mayor riesgo de cáncer<sup>82,83,87</sup>.

*Derrames de petróleo y residuos tóxicos* La contaminación por petróleo crudo y los residuos tóxicos no tratados de la explotación de petróleo y gas son notorios en las porciones Amazónicas de Ecuador<sup>88</sup> y Perú<sup>89,90</sup>. En la Amazonía ecuatoriana, entre 1972 y 1992, se vertieron al medio ambiente 73.000 millones de litros de petróleo crudo, casi el doble de la cantidad vertida por el petrolero Exxon Valdez en Alaska<sup>91,92</sup>. Durante este periodo también se vertieron 43.000 millones de litros de agua producida (salmuera de yacimientos petrolíferos), que contiene sales que alteran las migraciones de los peces<sup>92</sup>. El petróleo es tóxico para los peces<sup>93</sup>, y la contaminación asociada al petróleo puede tener impactos de gran alcance en las comunidades acuáticas Amazónicas, ya que puede dispersarse ampliamente, afectando a toda la red aguas abajo<sup>90,94</sup>. Se han encontrado toxinas relacionadas con el hidrocarburo en arroyos ecuatorianos en concentraciones hasta 500 veces superiores a las permitidas por la normativa europea<sup>91</sup>.

*Minería* La minería del otro es especialmente frecuente en Brasil y Perú, y se prevé que la escala y los

impactos de esta actividad aumenten sustancialmente si no se toman medidas urgentes (Figura 20.2) )<sup>4,5,95</sup>. Se calcula que el mercurio vertido por la minería del oro en la Amazonía brasileña asciende a más de 200.000 toneladas desde finales del siglo XIX<sup>96</sup>. Se calcula que la minería del oro representa el 64% del mercurio que entra en los sistemas acuáticos Amazónicos<sup>97-100</sup>. El resto proviene de depósitos naturales erosionados por la deforestación (33%) y de la deposición atmosférica, siendo la fuente original la deforestación y los incendios forestales (3%)<sup>99,101</sup>. A escala de la cuenca, la dinámica del mercurio implica procesos físicos abióticos (es decir, el transporte de sedimentos río abajo). El mercurio elemental puede ser convertido en metilmercurio tóxico por bacterias específicas en entornos anóxicos, como los que se crean en el fondo de los embalses o en lagos y ríos naturales estratificados térmicamente.

El metilmercurio (MeHg) entra en las redes alimentarias acuáticas y se bioacumula con los niveles tróficos<sup>102,103</sup>. La fauna está expuesta al MeHg a través de la dieta<sup>103-105</sup>. La bioacumulación de mercurio hace que las concentraciones aumenten en gran medida en los principales depredadores, como los grandes bagres, los caimanes negros, las nutrias y los delfines<sup>106-112</sup>. A través del consumo de pescado, los seres humanos también bioacumulan mercurio; las poblaciones Amazónicas muestran algunos de los niveles de mercurio más altos del mundo registrados en el cabello humano, junto con los problemas de salud asociados<sup>113</sup>.

*Aguas residuales urbanas y residuos plásticos* Las aguas residuales urbanas afectan en gran medida a los invertebrados acuáticos, reduciendo tanto su abundancia como su riqueza de especies<sup>114-118</sup>. En los ríos y arroyos Amazónicos se desechan grandes cantidades de plástico y se han detectado microplásticos en los sedimentos de los ríos<sup>119</sup> y en la arena de las playas costeras cerca de la desembocadura del Amazonas<sup>120</sup>. También se han encontrado microplásticos

en especies de peces de todos los niveles tróficos, incluidas 13 especies del río Xingu<sup>119</sup> y 14 del estuario del Amazonas<sup>122</sup>. Los microplásticos y los nanoplásticos afectan a los ecosistemas acuáticos y, además, son portadores de contaminantes orgánicos persistentes (COP)<sup>123</sup> y otras sustancias químicas que pueden provocar estrés hepático en los peces<sup>124</sup>.

**Interacciones entre impulsores** El texto anterior analiza los impulsores de la degradación por separado; sin embargo, varios están muy correlacionados y a menudo interactúan, y los organismos acuáticos tendrán que hacer frente a combinaciones de dichos impulsores. Por ejemplo, las represas hidroeléctricas inducen la construcción de carreteras, lo que a su vez conduce a un aumento de la deforestación y la agricultura<sup>34,45,125–127</sup>. Como ya se ha explicado, la interrupción del ciclo hidrológico por parte de las represas aísla grandes partes de las llanuras de inundación, que probablemente serán explotadas para la agricultura, aumentando aún más la deforestación<sup>34</sup>.

Del mismo modo, el curso de agua de la subcuenca del Tapajós puede fomentar una mayor deforestación directamente a través del aumento de la producción de soja en Mato Grosso. La escorrentía de las plantaciones de soja aporta fertilizantes, herbicidas, pesticidas y sedimentos procedentes de la erosión del suelo a los ecosistemas acuáticos. Las vías fluviales reducen los costos de transporte y fomentan la transición de la ganadería a la soja, lo que provoca un cambio indirecto en el uso de la tierra, ya que los ganaderos venden sus tierras a los agricultores de soja y despejan nuevas zonas de la Amazonía para pastizales<sup>128,129</sup>.

Uno de los efectos de las vías fluviales es que justifican las represas hidroeléctricas, independiente de la gravedad de los impactos negativos. Sin un conjunto completo de represas y esclusas en un río, las embarcaciones no pueden pasar. Dependen de los

embalses para eliminar los rápidos y las cascadas. La vía fluvial Tocantins/Araguaia<sup>130</sup> y la vía fluvial Tapajós<sup>128</sup> sirven de ejemplo. En el caso del río Madeira, un plan de 4.000 km de vías fluviales en la parte Amazónica de Bolivia, destinado a transportar soja, se utilizó como argumento para apoyar la viabilidad de las represas brasileñas de Santo Antônio y Jirau<sup>131,132</sup>.

La explotación de nuevas fuentes de energía, como el petróleo, suele requerir de la construcción de carreteras y, por ende, de la deforestación<sup>45,133</sup>. La explotación petrolera también tiene fuertes efectos combinados con las represas, devastando la biota acuática donde estos impulsores se interconectan<sup>134</sup>. En la Amazonía peruana, la carretera interoceánica ha tenido un doble impacto sobre ríos y ecosistemas terrestres asociados; esta carretera ha promovido el cambio de uso de suelo debido a la expansión de la agricultura en el norte, al mismo tiempo que ha contribuido a la extracción de oro en los ríos Malinowsky e Inambari<sup>135,136</sup>.

**Conclusiones** Los ecosistemas acuáticos de la Amazonía sufren el impacto de la acción humana, especialmente de infraestructuras como represas hidroeléctricas, carreteras y la expropiación de petróleo y gas. Estos impactos se han visto intensificados por el aumento de la deforestación, la contaminación por agroquímicos, residuos urbanos e industriales y la minería ilegal. Los efectos sinérgicos de estos impactos pueden comprometer el funcionamiento de los ecosistemas, provocando desequilibrios en las cadenas alimentarias, la disminución de la abundancia de especies y la extinción; esto, a su vez, tiene importantes efectos en la salud humana y en los modos de vida.



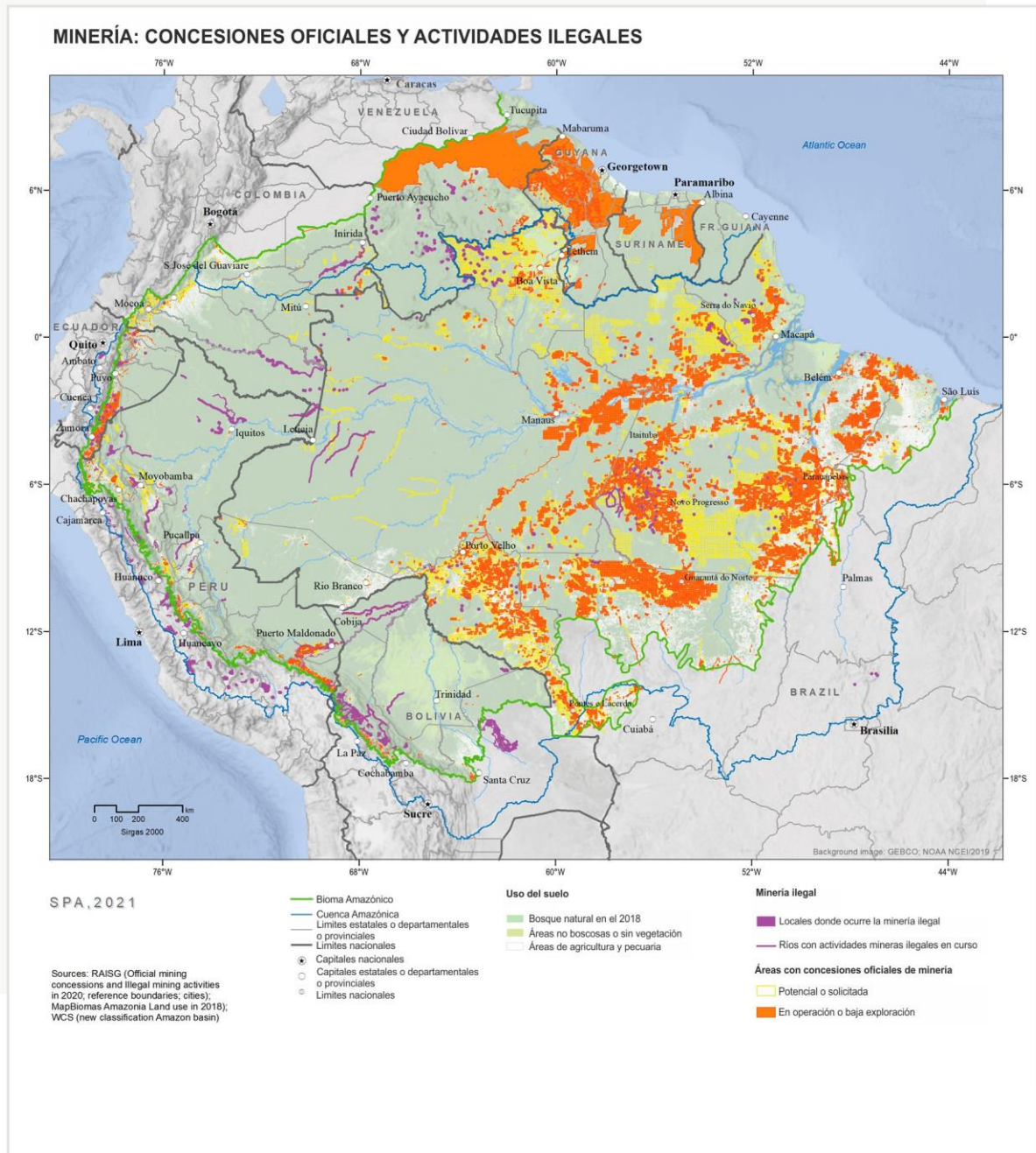


Figura 20.2 Concesiones mineras oficiales y actividades ilegales<sup>4</sup>

## Referencias

1. Filizola, N. & Guyot, J. L. Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. *Rev. Bras. Geociências* **41**, 566–576 (2011).
2. Jézéquel, C. *et al.* Freshwater fish diversity hotspots for conservation priorities in the Amazon Basin. *Conserv. Biol.* **34**, 956–965 (2020).
3. Val, A. L. Fishes of the Amazon: diversity and beyond. *An. Acad. Bras. Cienc.* **91**, (2019).
4. Venticinque, E. *et al.* An explicit GIS-based river basin framework for aquatic ecosystem conservation in the Amazon. *Earth Syst Sci Data* 651–661 [https://knbn.ecoinformat-ics.org/view/doi%3A10.5063%2FF1BG2KX8#snapp\\_computing.6.1](https://knbn.ecoinformat-ics.org/view/doi%3A10.5063%2FF1BG2KX8#snapp_computing.6.1) (2016).
5. RAISG. Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information. <https://www.amazoniasocioambiental.org/en/> (2020).
6. Ribeiro, M. & Petreire, M. Viagem de reconhecimento ao rio Tocantins e baixo rio Araguaia entre 20/11/88 e 8/12/88. *Consult. Rep. to UNDP/ELETRONORTE, Bras. (DF)(mimeographed report)* (1988).
7. Ribeiro, M. C. L. de B., Petreire Junior, M. & Juras, A. A. Ecological integrity and fisheries ecology of the Araguaia–Tocantins River Basin, Brazil. *Regul. Rivers Res. Manag.* **11**, 325–350 (1995).
8. Santos, G. M. dos. Impactos da hidrelétrica Samuel sobre as comunidades de peixes do rio Jamari (Rondônia, Brasil). *Vol. 25, Número 3-4, Pags. 247-280* (1995).
9. Santos, R. E., Pinto-Coelho, R. M., Fonseca, R., Simões, N. R. & Zanchi, F. B. The decline of fisheries on the Madeira River, Brazil: The high cost of the hydroelectric dams in the Amazon Basin. *Fish. Manag. Ecol.* **25**, 380–391 (2018).
10. Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Santos, N. C. L., Ortega, J. C. G. & Pelicice, F. M. Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management. *Fish. Res.* **173**, 26–36 (2016).
11. Araújo, E. S. *et al.* Changes in distance decay relationships after river regulation: similarity among fish assemblages in a large Amazonian river. *Ecol. Freshw. Fish* **22**, 543–552 (2013).
12. Arantes, C. C., Fitzgerald, D. B., Hoeninghaus, D. J. & Winemiller, K. O. Impacts of hydroelectric dams on fishes and fisheries in tropical rivers through the lens of functional traits. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* **37**, 28–40 (2019).
13. Arantes, C. C. *et al.* Floodplain land cover affects biomass distribution of fish functional diversity in the Amazon River. *Sci. Rep.* **9**, 16684 (2019).
14. Gravena, W., Farias, I. P., da Silva, M. N. F., da Silva, V. M. F. & Hrbek, T. Looking to the past and the future: were the Madeira River rapids a geographical barrier to the boto (Cetacea: Iniidae)? *Conserv. Genet.* **15**, 619–629 (2014).
15. Paschoalini, M. *et al.* On the brink of isolation: Population estimates of the Araguaian river dolphin in a human-impacted region in Brazil. *PLoS One* **15**, e0231224 (2020).
16. Gonzales, J. Amazon’s giant South American river turtle holding its own, but risks abound. *Mongabay Series: Amazon Conservation* (2019).
17. Norris, D., Michalski, F. & Gibbs, J. P. Beyond harm’s reach? Submersion of river turtle nesting areas and implications for restoration actions after Amazon hydropower development. *PeerJ* **6**, e4228 (2018).
18. Tavares de Lima, I. B., Novo, E. M. L. M., Ballester, M. V. R. & Ometto, J. P. Role of the macrophyte community in CH<sub>4</sub> production and emission in the tropical reservoir of Tucuruí, Pará State, Brazil. *SIL Proceedings, 1922-2010* **27**, 1437–1440 (2000).
19. Fearnside, P. M. Environmental Impacts of Brazil’s Tucuruí Dam: Unlearned Lessons for Hydroelectric Development in Amazonia. *Environ. Manage.* **27**, 377–396 (2001).

20. Fearnside, P. M. & Postal, C. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazonia as sources of greenhouse gases. *Environ. Conserv.* **22**, 7–19 (1995).
21. Fearnside, P. M. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water. Air. Soil Pollut.* **133**, 69–96 (2002).
22. Fearnside, P. M. Brazil's Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environ. Manage.* **35**, 1–19 (2005).
23. Abril, G., Parize, M., Pérez, M. A. P. & Filizola, N. Wood decomposition in Amazonian hydro-power reservoirs: An additional source of greenhouse gases. *J. South Am. Earth Sci.* **44**, 104–107 (2013).
24. Barros, N. *et al.* Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. *Nat. Geosci.* **4**, 593–596 (2011).
25. Fearnside, P. M. As hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como fontes de gases de efeito estufa. *Novos Cad. NAEA* **12**, (2009).
26. dos Santos Junior, U. M., de Carvalho Gonçalves, J. F. & Fearnside, P. M. Measuring the impact of flooding on Amazonian trees: photosynthetic response models for ten species flooded by hydroelectric dams. *Trees* **27**, 193–210 (2013).
27. dos Santos Junior, U. M., Gonçalves, J. F. de C., Strasser, R. J. & Fearnside, P. M. Flooding of tropical forests in central Amazonia: what do the effects on the photosynthetic apparatus of trees tell us about species suitability for reforestation in extreme environments created by hydroelectric dams? *Acta Physiol. Plant.* **37**, 1–17 (2015).
28. Fearnside, P. M. Decision Making on Amazon Dams: Politics Trumps Uncertainty in the Madeira River Sediments Controversy. *Water Altern.* **6**, 313–325 (2013).
29. Almeida, R. *et al.* Hydropeaking Operations of Two Run-of-River Mega-Dams Alter Downstream Hydrology of the Largest Amazon Tributary. in *Frontiers in Environmental Science* (2020).
30. Santos, R. E., Pinto-Coelho, R. M., Drumond, M. A., Fonseca, R. & Zanchi, F. B. Damming Amazon Rivers: Environmental impacts of hydroelectric dams on Brazil's Madeira River according to local fishers' perception. *Ambio* **49**, 1612–1628 (2020).
31. Latrubesse, E. M. *et al.* Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature* **546**, 363–369 (2017).
32. Lima, M. A. L., Kaplan, D. A. & Rodrigues da Costa Doria, C. Hydrological controls of fisheries production in a major Amazonian tributary. *Ecohydrology* **10**, e1899 (2017).
33. Arantes, C. C., Winemiller, K. O., Petreire, M. & Freitas, C. E. C. Spatial variation in aquatic food webs in the Amazon River floodplain. *Freshw. Sci.* **38**, 213–228 (2019).
34. Forsberg, B. R. *et al.* The potential impact of new Andean dams on Amazon fluvial ecosystems. *PLoS One* **12**, e0182254 (2017).
35. Timpe, K. & Kaplan, D. The changing hydrology of a dammed Amazon. *Sci. Adv.* **3**, e1700611 (2017).
36. Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Veríssimo, S. & K. Okada, E. Flood regime, dam regulation and fish in the Upper Paraná River: effects on assemblage attributes, reproduction and recruitment. in *Reviews in Fish Biology and Fisheries* vol. 14 11–19 (2004).
37. Bailly, D., Agostinho, A. A. & Suzuki, H. I. Influence of the flood regime on the reproduction of fish species with different reproductive strategies in the Cuiabá River, Upper Pantanal, Brazil. *River Res. Appl.* **24**, 1218–1229 (2008).
38. Carvalho Freitas, C. E. de *et al.* The Potential Impacts of Global Climatic Changes and Dams on Amazonian Fish and Their Fisheries. in *New Advances and Contributions to Fish Biology* (2012).

39. Vasconcelos, L. P., Alves, D. C. & Gomes, L. C. Fish reproductive guilds downstream of dams. *J. Fish Biol.* **85**, 1489–1506 (2014).
40. Nunes, D. M. F. *et al.* Influence of a large dam and importance of an undammed tributary on the reproductive ecology of the threatened fish matrinxã *Brycon orthotaenia* Günther, 1864 (Characiformes: Bryconidae) in southeastern Brazil. *Neotrop. Ichthyol.* **13**, 317–324 (2015).
41. McIntyre, P. B. *et al.* Conservation of migratory fishes in freshwater ecosystems. in *Conservation of Freshwater Fishes* (eds. Closs, G. P. & Olden, J. D.) 324–360 (Cambridge University Press: Cambridge, 2016).
42. Zuanon, J. Ictiofauna. in *Uma avaliação crítica do Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) do Aproveitamento Hidrelétrico São Luiz do Tapajós*. (eds. Nitta, R. & Naka, L. N.) 67–74 (Greenpeace Brasil, 2015).
43. Castello, L. *et al.* The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conserv. Lett.* **6**, 217–229 (2013).
44. Hrbek, T., Meliciano, N. V., Zuanon, J. & Farias, I. P. Remarkable Geographic Structuring of Rheophilic Fishes of the Lower Araguaia River. *Frontiers in Genetics* vol. 9 295 (2018).
45. Anderson, E. P. *et al.* Fragmentation of Andes-to-Amazon connectivity by hydropower dams. *Sci. Adv.* **4**, eaao1642 (2018).
46. Bodmer, R. *et al.* Modelamiento de las consecuencias previsibles del dragado de los principales ríos amazónicos sobre la fauna silvestre y la gente de los bosques inundados de Loreto, Perú. *Folia Amaz.* **27**, 247–258 (2018).
47. Isaac, V. J. & Ruffino, M. L. Population dynamics of tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Lower Amazon, Brazil. *Fish. Manag. Ecol.* **3**, 315–333 (1996).
48. Castello, L. & Stewart, D. J. Assessing CITES non-detriment findings procedures for Arapaima in Brazil. *J. Appl. Ichthyol.* **26**, 49–56 (2010).
49. Campos, C. P., Costa Sousa, R. G., Catarino, M. F., de Albuquerque Costa, G. & Freitas, C. E. C. Population dynamics and stock assessment of *Colossoma macropomum* caught in the Manacapuru Lake system (Amazon Basin, Brazil). *Fish. Manag. Ecol.* **22**, 400–406 (2015).
50. Castello, L., Arantes, C. C., Mcgrath, D. G., Stewart, D. J. & Sousa, F. S. De. Understanding fishing-induced extinctions in the Amazon. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* **25**, 587–598 (2015).
51. Catarino, M. F., Campos, C. P., Garcez, R. & Freitas, C. E. de C. Population dynamics of *Prochilodus nigricans* caught in Manacapuru Lake (Amazon basin, Brazil). *Bol. do Inst. Pesca* **40**, 589–595 (2014).
52. García-Vásquez, A., Vargas, G., Sánchez, H., Tello, S. & Duponchelle, F. Periodic life history strategy of *Psectrogaster rutiloides*, Kner 1858, in the Iquitos region, Peruvian Amazon. *J. Appl. Ichthyol.* **31**, 31–39 (2015).
53. Bonilla-Castillo, C. A., Córdoba, E. A., Gómez, G. & Duponchelle, F. Population dynamics of *Prochilodus nigricans* (Characiformes: Prochilodontidae) in the Putumayo River. *Neotrop. Ichthyol.* **16**, e170139 (2018).
54. Duponchelle, F. *et al.* Conservation of migratory fishes in the Amazon basin. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.*
55. Andrews, C. The ornamental fish trade and fish conservation. *J. Fish Biol.* **37**, 53–59 (1990).
56. Stevens, C. H., Croft, D. P., Paull, G. C. & Tyler, C. R. Stress and welfare in ornamental fishes: what can be learned from aquaculture? *J. Fish Biol.* **91**, 409–428 (2017).
57. Olivier, K. The ornamental fish market. *Globefish Res. Program.* **67**, 99p (2001).
58. Chao, N. L. & Prang, G. Project Piaba -- towards a sustainable ornamental fishery in the Amazon. *Aquarium Sci. Conserv.* **1**, 105–111 (1997).

59. Moreau, M.-A. & Coomes, O. T. Aquarium fish exploitation in western Amazonia: conservation issues in Peru. *Environ. Conserv.* **34**, 12–22 (2007).
60. Monticini, P. *The Ornamental Fish Trade Production and Commerce of Ornamental Fish: technical-managerial and legislative aspects*. www.globe-fish.org (2010).
61. Crampton, W. G. R. The impact of the ornamental fish trade on the discus *Symphysodon aequifasciatus*: A case study from the floodplain forests of Estação Ecológica Mamirauá. *Adv. Econ. Bot.* **13**, 29–44 (1999).
62. Chao, N. L. & Prada-Pedrerros, S. Diversity and habitat of ornamental fishes in the Rio Negro, Brazil: exploitation and conservation issues. in *Proceedings of World Fisheries Congress, Theme vol. 3* 241–261 (1995).
63. Gerstner, C. L., Ortega, H., Sanchez, H. & Graham, D. L. Effects of the freshwater aquarium trade on wild fish populations in differentially-fished areas of the Peruvian Amazon. *J. Fish Biol.* **68**, 862–875 (2006).
64. Junior, D. P. L. *et al.* Aquaculture expansion in Brazilian freshwaters against the Aichi Biodiversity Targets. *Ambio* **47**, 427–440 (2018).
65. Zaret, T. M. & Paine, R. T. Species Introduction in a Tropical Lake. *Science* **182**, 449 LP – 455 (1973).
66. Latini, A. O. & Petrere Jr., M. Reduction of a native fish fauna by alien species: an example from Brazilian freshwater tropical lakes. *Fish. Manag. Ecol.* **11**, 71–79 (2004).
67. Pelicice, F. M. & Agostinho, A. A. Fish fauna destruction after the introduction of a non-native predator (*Cichla kelberi*) in a Neotropical reservoir. *Biol. Invasions* **11**, 1789–1801 (2009).
68. Fragoso-Moura, E. N., Oporto, L. T., Maia-Barbosa, P. M. & Barbosa, F. A. R. Loss of biodiversity in a conservation unit of the Brazilian Atlantic Forest: the effect of introducing non-native fish species. *Brazilian J. Biol.* **76**, 18–27 (2016).
69. Pelicice, F. M., Latini, J. D. & Agostinho, A. A. Fish fauna disassembly after the introduction of a voracious predator: main drivers and the role of the invader's demography. *Hydrobiologia* **746**, 271–283 (2015).
70. Ortega, H., Guerra, H. & Ramírez, R. The introduction of nonnative fishes into freshwater systems of Peru. in *Ecological and genetic implications of aquaculture activities* 247–278 (Springer, 2007).
71. Van Damme, P. A., Carvajal-Vallejos, F. M., Pouilly, M., Perez, T. & Carpio, J. M. Amenazas para los peces y las pesquerías de la Amazonía Boliviana. in *Los peces y delfines de la Amazonía boliviana: hábitats, potencialidades y amenazas*. Editorial Inia, Cochabamba, Bolivia (eds. Damme, P. A. Van, F. Carvajal-Vallejos & Carpio, J. M.) 327–365 (Editorial INIA, 2011).
72. Coe, M. T., Costa, M. H. & Soares-Filho, B. S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River – Land surface processes and atmospheric feedbacks. *J. Hydrol.* **369**, 165–174 (2009).
73. Neill, C., Deegan, L. A., Thomas, S. M. & Cerri, C. C. Deforestation for pasture alters nitrogen and phosphorus in small Amazonian streams. *Ecol. Appl.* **11**, 1817–1828 (2001).
74. Deegan, L. A. *et al.* Amazon deforestation alters small stream structure, nitrogen biogeochemistry and connectivity to larger rivers. *Biogeochemistry* **105**, 53–74 (2011).
75. Iñiguez-Armijos, C., Leiva, A., Frede, H., Hampel, H. & Breuer, L. Deforestation and Benthic Indicators: How Much Vegetation Cover Is Needed to Sustain Healthy Andean Streams? *PLoS One* **9**, e105869 (2014).
76. Ilha, P., Schiesari, L., Yanagawa, F. I., Janowski, K. & Navas, C. A. Deforestation and stream warming affect body size of Amazonian fishes. *PLoS One* **13**, e0196560 (2018).

77. da Silva Monteiro Júnior, C., Couceiro, S. R. M., Hamada, N. & Juen, L. Effect of vegetation removal for road building on richness and composition of Odonata communities in Amazonia, Brazil. *Int. J. Odonatol.* **16**, 135–144 (2013).
78. Winemiller, K. O., Marrero, C. & Taphorn, D. C. Perturbaciones causadas por el hombre a las poblaciones de peces de los llanos y del piedemonte andino de Venezuela. *Biollania* **12**, 13–48 (1996).
79. Gonçalves, L. M. F., Silva, M. de N. P. da, Val, A. L. & Almeida-Val, V. M. F. de. Differential survivorship of congeneric ornamental fishes under forecasted climate changes are related to anaerobic potential. *Genet. Mol. Biol.* **41**, 107–118 (2018).
80. Duarte, R. M., Menezes, A. C. L., da Silveira Rodrigues, L., de Almeida-Val, V. M. F. & Val, A. L. Copper sensitivity of wild ornamental fish of the Amazon. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **72**, 693–698 (2009).
81. Braz-Mota, S. *et al.* Exposure to waterborne copper and high temperature induces the formation of reactive oxygen species and causes mortality in the Amazonian fish *Hoplosternum littorale*. *Hydrobiologia* **789**, 157–166 (2017).
82. Silva, G. S. da, Matos, L. V. de, Freitas, J. O. da S., Campos, D. F. de & Almeida e Val, V. M. F. de. Gene expression, genotoxicity, and physiological responses in an Amazonian fish, *Colossoma macropomum* (CUVIER 1818), exposed to Roundup® and subsequent acute hypoxia. *Comp. Biochem. Physiol. Part C Toxicol. Pharmacol.* **222**, 49–58 (2019).
83. Silva de Souza, S. *et al.* Severe damages caused by Malathion exposure in *Colossoma macropomum*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **205**, 111340 (2020).
84. Lailson-Brito Jr, J. *et al.* Dolphins as indicators of micropollutant trophic flow in Amazon Basin. *Oecologia Bras.* **12**, 12 (2008).
85. Torres, J. P. M. *et al.* Persistent toxic substances in the Brazilian Amazon: contamination of man and the environment. *J. Braz. Chem. Soc.* **20**, 1175–1179 (2009).
86. Teófilo Pignati, M. *et al.* Levels of organochlorine pesticides in Amazon turtle (*Podocnemis unifilis*) in the Xingu River, Brazil. *J. Environ. Sci. Heal. Part B* **53**, 810–816 (2018).
87. Braz-Mota, S., Sadauskas-Henrique, H., Duarte, R. M., Val, A. L. & Almeida-Val, V. M. F. Roundup® exposure promotes gills and liver impairments, DNA damage and inhibition of brain cholinergic activity in the Amazon teleost fish *Colossoma macropomum*. *Chemosphere* **135**, 53–60 (2015).
88. Jochnick, C., Norman, R. & Zaidi, S. Rights violations in the Ecuadorian Amazon: the human consequences of oil development. *Health Hum. Rights* 82–100 (1994).
89. Orta Martínez, M. *et al.* Impacts of petroleum activities for the Achuar people of the Peruvian Amazon: summary of existing evidence and research gaps. *Environ. Res. Lett.* **2**, 45006 (2007).
90. Yusta-García, R., Orta-Martínez, M., Mayor, P., González-Crespo, C. & Rosell-Melé, A. Water contamination from oil extraction activities in Northern Peruvian Amazonian rivers. *Environ. Pollut.* **225**, 370–380 (2017).
91. San Sebastián, M. & Karin Hurtig, A. Oil exploitation in the Amazon basin of Ecuador: a public health emergency. *Rev. Panam. salud pública* **15**, 205–211 (2004).
92. Kimerling, J. Indigenous peoples and the oil frontier in Amazonia: The case of Ecuador, ChevronTexaco, and Aguinda v. Texaco. *NYUJ Int'l. L. Pol.* **38**, 413 (2005).
93. Sadauskas-Henrique, H., Braz-Mota, S., Duarte, R. M. & de Almeida-Val, V. M. F. Influence of the natural Rio Negro water on the toxicological effects of a crude oil and its chemical dispersion to the Amazonian fish *Colossoma macropomum*. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **23**, 19764–19775 (2016).

94. Moquet, J.-S. *et al.* Cl and Na Fluxes in an Andean Foreland Basin of the Peruvian Amazon: An Anthropogenic Impact Evidence. *Aquat. Geochemistry* **20**, 613–637 (2014).
95. MAPBIOMAS. Mapbiomas Amazonia. *Annual maps of land cover, land use and land use changes between 1985 to 2018 in the Pan-Amazon*. <https://amazonia.mapbiomas.org/en> (2020).
96. Bahia, M. de O. *et al.* Environmental biomonitoring using cytogenetic endpoints in a population exposed to mercury in the Brazilian Amazon. *Environ. Mol. Mutagen.* **44**, 346–349 (2004).
97. Artaxo, P. *et al.* Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon basin. *Atmos. Environ.* **34**, 4085–4096 (2000).
98. de Cássia Guimarães Mesquita, R. Management of advanced regeneration in secondary forests of the Brazilian Amazon. *For. Ecol. Manage.* **130**, 131–140 (2000).
99. Roulet, M. *et al.* Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. *Water. Air. Soil Pollut.* **112**, 297–313 (1999).
100. Roulet, M., Lucotte, M., Guimarães, J. R. D. & Rheault, I. Methylmercury in water, seston, and epiphyton of an Amazonian river and its floodplain, Tapajos River, Brazil. *Sci. Total Environ.* **261**, 43–59 (2000).
101. Souza-Araujo, J., Giarrizzo, T., Lima, M. O. & Souza, M. B. G. Mercury and methyl mercury in fishes from Bacaja River (Brazilian Amazon): evidence for bioaccumulation and biomagnification. *J. Fish Biol.* **89**, 249–263 (2016).
102. Morel, F. M. M., Kraepiel, A. M. L. & Amyot, M. The Chemical Cycle and Bioaccumulation Of Mercury. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **29**, 543–566 (1998).
103. Ullrich, S. M., Tanton, T. W. & Abdrashitova, S. A. Mercury in the Aquatic Environment: A Review of Factors Affecting Methylation. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* **31**, 241–293 (2001).
104. Sarica, J. *et al.* Mercury transfer from fish carcasses to scavengers in boreal lakes: the use of stable isotopes of mercury. *Environ. Pollut.* **134**, 13–22 (2005).
105. de Moura, J. F. *et al.* Mercury Status of the Amazon Continental Shelf: Guiana Dolphins (*Sotalia guianensis*, Van Benédén 1864) as a Bioindicator. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **89**, 412–418 (2012).
106. Markert, B. Definitions and principles for bioindication and biomonitoring of trace metals in the environment. *J. Trace Elem. Med. Biol.* **21**, 77–82 (2007).
107. Molina, C. I. *et al.* Transfer of mercury and methylmercury along macroinvertebrate food chains in a floodplain lake of the Beni River, Bolivian Amazonia. *Sci. Total Environ.* **408**, 3382–3391 (2010).
108. Bossart, G. D. Marine mammals as sentinel species for oceans and human health. *Vet. Pathol.* **48**, 676–690 (2011).
109. Salinas, C., Cubillos, J. C., Gómez, R., Trujillo, F. & Caballero, S. “Pig in a poke (gato por liebre)”: the “mota”(Calophysus macropterus) fishery, molecular evidence of commercialization in Colombia and toxicological analyses. *Ecohealth* **11**, 197–206 (2014).
110. Nuñez-Avellaneda, M., Agudelo Córdoba, E. & Gil-Manrique, B. D. Un análisis descriptivo de la presencia de mercurio en agua, sedimento y peces de interés socioeconómico en la Amazonia Colombiana. *Rev. Colomb. Amaz.* **7**, 149–159 (2014).
111. Mosquera-Guerra, F., Trujillo, F., Díaz-Granados, M. C. & Mantilla-Meluk, H. Conservación de delfines de río (*Inia geoffrensis* y *Sotalia fluviatilis*) en los ecosistemas acuáticos de la Amazonia y Orinoquia en Colombia. *Momentos Cienc.* **12**, 77–86 (2015).
112. Mosquera-Guerra, F. *et al.* Mercury in populations of River Dolphins of the Amazon and Orinoco Basins. *Ecohealth* **16**, 743–758 (2019).

113. Passos, C. J. S. & Mergler, D. Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review. *Cad. Saude Publica* **24**, s503–s520 (2008).
114. Couceiro, S. R. M., Forsberg, B. R., Hamada, N. & Ferreira, R. L. M. Effects of an oil spill and discharge of domestic sewage on the insect fauna of Cururu stream, Manaus, AM, Brazil. *Brazilian J. Biol.* **66**, 35–44 (2006).
115. Couceiro, S. R. M., Hamada, N., Ferreira, R. L. M., Forsberg, B. R. & da Silva, J. O. Domestic sewage and oil spills in streams: effects on edaphic invertebrates in flooded forest, Manaus, Amazonas, Brazil. *Water. Air. Soil Pollut.* **180**, 249–259 (2007).
116. Couceiro, S. R. M., Hamada, N., Luz, S. L. B., Forsberg, B. R. & Pimentel, T. P. Deforestation and sewage effects on aquatic macroinvertebrates in urban streams in Manaus, Amazonas, Brazil. *Hydrobiologia* **575**, 271–284 (2007).
117. Couceiro, S. R. M., Hamada, N., Forsberg, B. R. & Padovesi-Fonseca, C. Trophic structure of macroinvertebrates in Amazonian streams impacted by anthropogenic siltation. *Austral Ecol.* **36**, 628–637 (2011).
118. Martins, R. T., Couceiro, S. R. M., Melo, A. S., Moreira, M. P. & Hamada, N. Effects of urbanization on stream benthic invertebrate communities in Central Amazon. *Ecol. Indic.* **73**, 480–491 (2017).
119. Gerolin, C. R. *et al.* Microplastics in sediments from Amazon rivers, Brazil. *Sci. Total Environ.* **749**, 141604 (2020).
120. Martinelli Filho, J. E. & Monteiro, R. C. P. Widespread microplastics distribution at an Amazon macrotidal sandy beach. *Mar. Pollut. Bull.* **145**, 219–223 (2019).
121. Andrade, M. C. *et al.* First account of plastic pollution impacting freshwater fishes in the Amazon: Ingestion of plastic debris by piranhas and other serrasalmids with diverse feeding habits. *Environ. Pollut.* **244**, 766–773 (2019).
122. Pegado, T. de S. e S. *et al.* First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. *Mar. Pollut. Bull.* **133**, 814–821 (2018).
123. Besseling, E., Redondo-Hasselerharm, P., Foekema, E. M. & Koelmans, A. A. Quantifying ecological risks of aquatic micro- and nanoplastic. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* **49**, 32–80 (2019).
124. Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T. & Teh, S. J. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Sci. Rep.* **3**, 3263 (2013).
125. Finer, M. & Jenkins, C. N. Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity. *PLoS One* **7**, e35126 (2012).
126. Chen, G., Powers, R. P., de Carvalho, L. M. T. & Mora, B. Spatiotemporal patterns of tropical deforestation and forest degradation in response to the operation of the Tucuruí hydroelectric dam in the Amazon basin. *Appl. Geogr.* **63**, 1–8 (2015).
127. Lees, A. C., Peres, C. A., Fearnside, P. M., Schneider, M. & Zuanon, J. A. S. Hydropower and the future of Amazonian biodiversity. *Biodivers. Conserv.* **25**, 451–466 (2016).
128. Fearnside, P. M. Amazon dams and waterways: Brazil's Tapajós Basin plans. *Ambio* **44**, 426–439 (2015).
129. Arima, E. Y., Richards, P., Walker, R. & Caldas, M. M. Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. *Environ. Res. Lett.* **6**, 24010 (2011).
130. Fearnside, P. M. Avanço Brasil: Environmental and social consequences of Brazil's planned infrastructure in Amazonia. *Environ. Manage.* **30**, 735–747 (2002).
131. Fearnside, P. Brazil's Madeira River dams: A setback for environmental policy in Amazonian development. *Water Altern.* **7**, 235–255 (2014).
132. Fearnside, P. M. Impacts of Brazil's Madeira River Dams: Unlearned lessons for hydroelectric



- development in Amazonia. *Environ. Sci. Policy* **38**, 164–172 (2014).
133. Fearnside, P. Brazil's Bem Querer dam: An impending Amazon disaster (commentary). *Mongabay Series: Amazon Conservation* (2020).
134. Anderson, E. P. *et al.* Energy development reveals blind spots for ecosystem conservation in the Amazon Basin. *Front. Ecol. Environ.* **17**, 521–529 (2019).
135. Sánchez-Cuervo, A. M. *et al.* Twenty years of land cover change in the southeastern Peruvian Amazon: implications for biodiversity conservation. *Reg. Environ. Chang.* **20**, 8 (2020).
136. Finer, M., Villa, L. & Mamani, N. Gold mining continues to ravage the Peruvian Amazon. *Amazon Conservation* (2018).