

## Capítulo transversal

### El presupuesto de carbono de la Amazonía



Rio Parima na Terra Indígena Yanomami (Foto: Bruno Kelly/Amazônia Real)



Science Panel for the Amazon



## Sobre el Panel Científico por la Amazonía (PCA)

El Panel Científico por la Amazonía es una iniciativa sin precedentes convocada bajo los auspicios de la Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible (SDSN) de las Naciones Unidas. El SPA está compuesto por más de 200 científicos e investigadores destacados de los ocho países amazónicos, la Guayana Francesa y socios globales. Estos expertos se reunieron para debatir, analizar y ensamblar el conocimiento acumulado de la comunidad científica, los pueblos Indígenas y otros actores que viven y trabajan en la Amazonía.

El Panel está inspirado en el Pacto de Leticia por la Amazonía. Este es el primer informe de su tipo que proporciona una evaluación científica exhaustiva, objetiva, abierta, transparente, sistemática y rigurosa del estado de los ecosistemas de la Amazonía, las tendencias actuales y sus implicaciones para el bienestar a largo plazo de la región, así como oportunidades y opciones relevantes de políticas para la conservación y el desarrollo sostenible.

Informe de evaluación de Amazonía 2021, Derechos de autor ©2022, Panel Científico por la Amazonía. Traducido del inglés al español por iTranslate, con el generoso apoyo del Banco Mundial. Este informe se publica bajo una licencia Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0). ISBN: 978-1-7348080-4

### Cita sugerida

Gatti LV, Melack J, Basso LS, Restrepo-Coupe N, Aguiar AP, Pangala S, Saleska SR, Aragão L, Phillips OL, Armenteras D 2021. Capítulo transversal: El presupuesto de carbono de la Amazonía. En: Nobre C, Encalada A, Anderson E, Roca Alcazar FH, Bustamante M, Mena C, Peña-Claros M, Poveda G, Rodriguez JP, Saleska S, Trumbore S, Val AL, Villa Nova L, Abramovay R, Alencar A, Rodríguez Alza C, Armenteras D, Artaxo P, Athayde S, Barretto Filho HT, Barlow J, Berenguer E, Bortolotto F, Costa FA, Costa MH, Cuvi N, Fearnside PM, Ferreira J, Flores BM, Frieri S, Gatti LV, Guayasamin JM, Hecht S, Hirota M, Hoorn C, Josse C, Lapola DM, Larrea C, Larrea-Alcazar DM, Lehm Ardaya Z, Malhi Y, Marengo JA, Melack J, Moraes R M, Moutinho P, Murmis MR, Neves EG, Paez B, Painter L, Ramos A, Rosero-Peña MC, Schmink M, Sist P, ter Steege H, Val P, van der Voort H, Varese M, Zapata-Ríos G (Eds). Informe de evaluación de Amazonía 2021. Traducido del inglés al español por iTranslate. United Nations Sustainable Development Solutions Network, New York, USA. Disponible de <https://www.laamazonia.quequeremos.org/pca-publicaciones/>. DOI: 10.55161/XRVW6896

## ÍNDICE

<b>CT1.1. CAPTURA Y EMISIONES DE CO<sub>2</sub></b> .....	<b>3</b>
<b>CT1.2. EMISIONES DE METANO</b> .....	<b>8</b>
<b>CC1.3. REFERENCIAS</b> .....	<b>8</b>

## Capítulo transversal: El presupuesto de carbono de la Amazonía

*Luciana V. Gatti<sup>a,b</sup>, John Melack<sup>ac</sup>, Luana S. Basso<sup>a</sup>, Natalia Restrepo-Coupe<sup>d</sup>, Ana Paula Aguiar<sup>a</sup>, Sunitha Pangala<sup>e</sup>, Scott R. Saleska<sup>d</sup>, Luiz Aragão<sup>a</sup>, Oliver L. Phillips<sup>f</sup>, Dolors Armenteras<sup>g</sup>*

### Resumen

El objetivo principal de este capítulo transversal es resumir el estado de la Amazonía como fuente o sumidero de carbono (C). Los procesos y estudios involucrados se detallan en otros capítulos del SPA. El principal desafío de determinar el estado de la Amazonía como fuente o sumidero neto de C a escala continental es que muchos procesos complejos contribuyen a los flujos de C. A diferencia de otras regiones, las emisiones de la quema de combustibles fósiles son contribuyentes menores a los flujos amazónicos. En cambio, los principales sumideros y fuentes de C a la atmósfera están asociados con la acumulación o pérdida neta de biomasa, con pérdidas que incluyen deforestación, quema de biomasa y mortalidad de árboles seguida de descomposición. La biomasa se acumula en áreas donde el crecimiento de los árboles supera las pérdidas. La Amazonía incluye no solo bosques intactos, sino también bosques degradados y explotados, bosques naturales no forestales, áreas agrícolas y urbanas, y sistemas acuáticos que incluyen humedales que contribuyen al ciclo regional del carbono.

Dos métodos son utilizados para estimar el balance de carbono tierra-atmósfera a amplias escalas espaciales. Las estimaciones ascendentes utilizan mediciones de campo de la acumulación y pérdida de biomasa (a través de la mortalidad) en las parcelas, y las escalan en función de la teledetección y el modelado para caracterizar regiones amplias de tipo de vegetación similar. Los enfoques descendentes utilizan mediciones de las concentraciones de CO<sub>2</sub> tomadas por satélites y aeronaves junto con modelos de transporte atmosférico para estimar los flujos netos tierra-atmósfera. Estos flujos representan todos los procesos, incluyendo la deforestación, la degradación, la mortalidad forestal, los desequilibrios entre la respiración y la fotosíntesis durante el estrés de la estación seca, la quema de biomasa, las actividades agrícolas, las emisiones de combustibles fósiles, la regeneración de bosques secundarios y el crecimiento de bosques intactos (primarios). Si bien las mediciones de diagramas de bosque han existido durante varias décadas, solo en la última década más o menos han estado disponibles las mediciones del cambio de biomasa de satélites, aeronaves o sensores aéreos. Así, las estimaciones del balance neto de C a escala de toda la Amazonía solo se han producido en la última década, y existen altos niveles de incertidumbre asociados a la integración de diferentes enfoques, procesos y regiones.

Los resultados de los estudios descendentes y ascendentes para el período 2010 a 2019 indican que la región amazónica en su conjunto, incluyendo todos los procesos de captura y pérdida descritos anteriormente, es una fuente de carbono del orden de  $0,30 \pm 0,20$  Pg C  $y^{-1}$  y  $0,23 \pm 0,20$  Pg C  $y^{-1}$ , respectivamente. Es importante reconocer y comprender las suposiciones detrás de estos dos enfoques, y se necesita más investigación para comprender y reducir las diferencias entre ellos.

---

<sup>a</sup> Earth System Science Center (CCST), National Institute for Space Research (INPE), Av. dos Astronautas, 1.758, Jardim da Granja, São José dos Campos SP 12227-010, Brazil

<sup>b</sup> Nuclear and Energy Research Institute, IPEN-CNEN/SP, Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, Butantã, São Paulo SP 05508-000, Brazil

<sup>c</sup> Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara CA 93117, USA

<sup>d</sup> Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Arizona, Tucson AZ 85721, USA

<sup>e</sup> Lancaster Environment Centre, Lancaster University, Library Avenue, Bailrigg, Lancaster LA1 4YQ, UK

<sup>f</sup> School of Geography, University of Leeds, Leeds, United Kingdom

<sup>g</sup> Ecología del Paisaje y Modelación de Ecosistemas ECOLMOD, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Cra 45 #2685, Bogotá, Colombia

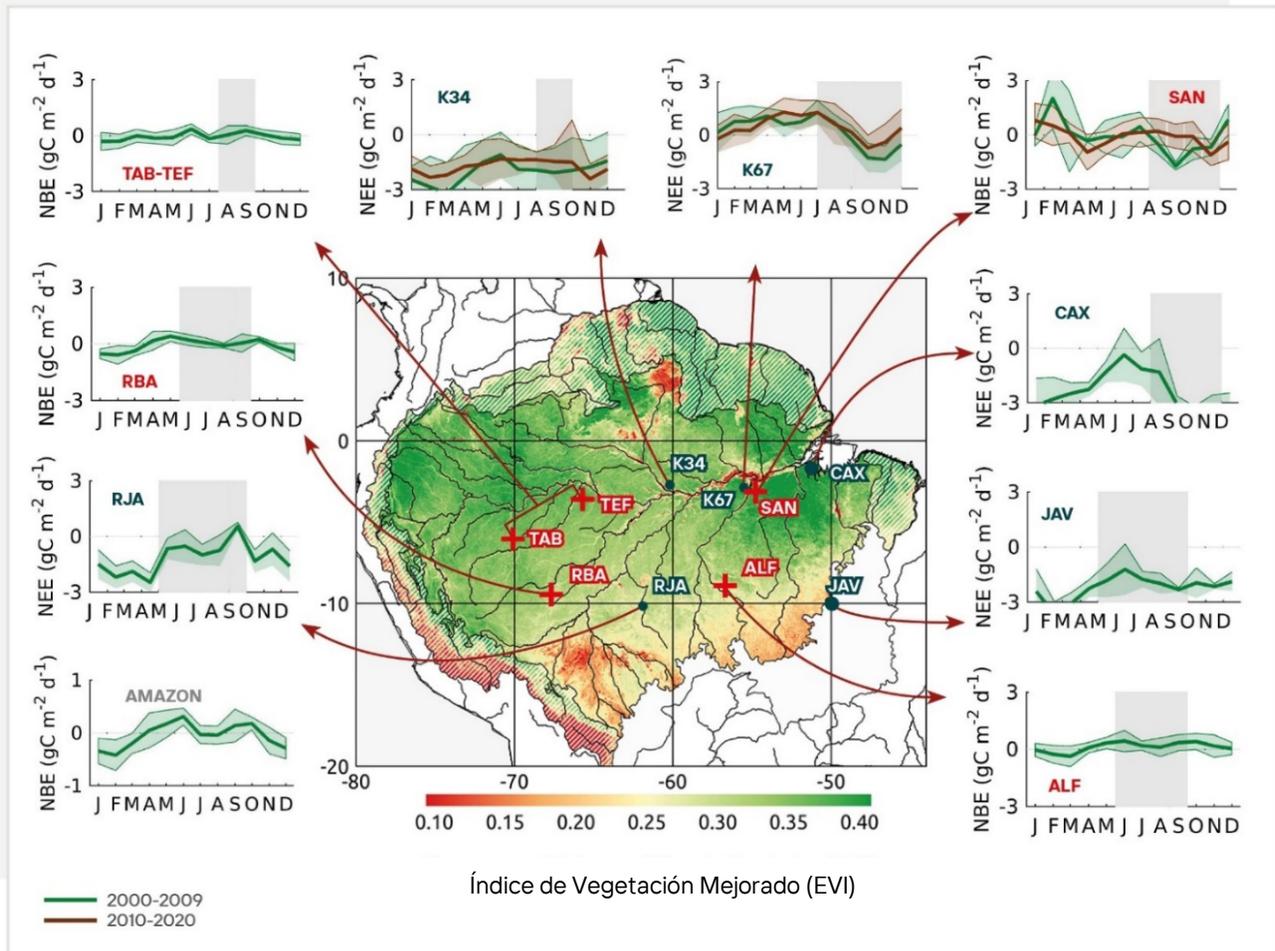
### CT1.1. Captura y emisiones de CO<sub>2</sub>

Durante los últimos 40 a 50 años, la Amazonía ha experimentado fuertes impactos humanos por la deforestación y el cambio de uso del suelo. Según el Proyecto Brasileño de Mapeo Anual de Uso y Cobertura del Suelo (Mapbiomas Amazonia 2020), un total acumulado de 17% fue deforestado en 2019, de los cuales la agricultura representa el 14% (89% pastos y 11% cultivos) (MapBiomas Amazonia 2020). Los inventarios de redes de parcelas forestales a largo plazo (p. ej., RAINFOR), muchos de los cuales comenzaron en la década de 1980, brindan datos sobre la dinámica del carbono para bosques intactos y maduros en casi 300 sitios. Estas parcelas individuales, escaladas al área boscosa total, indican que los bosques intactos son un sumidero neto de carbono, aunque la tasa de captura de carbono ha disminuido en las últimas tres décadas, principalmente debido al aumento de la mortalidad (Brienen *et al.* 2015; Phillips y Brienen, 2017; Hubau *et al.* 2020) (ver el Capítulo 6). El sumidero o la captura de carbono (es decir, la eliminación de carbono de la atmósfera, notificada aquí con un signo negativo) estimado para bosques maduros de tierras altas, escalado a un área de  $7,25 \times 10^6 \text{ km}^2$ , da como resultado una estimación de la captura neta media de carbono en bosques intactos para la década de 1990 de  $-0,59 \pm 0,18 \text{ Pg C y}^{-1}$ . En la primera década de 2000, la captura de carbono disminuyó a  $-0,41 \pm 0,20 \text{ Pg C y}^{-1}$ , y en la década de 2010 fue de  $-0,22 \pm 0,30 \text{ Pg C y}^{-1}$  (ver la Tabla CC1; tener en cuenta que todos los estudios se escalan a la misma zona). Las incertidumbres informadas son las que se reportan en las publicaciones y están basadas en la variabilidad entre los estudios. Según estos estudios, el sumidero de carbono se ha debilitado alrededor de 60% en el transcurso de las últimas tres décadas; sin embargo, esta disminución no se distribuyó uniformemente en la cuenca Amazónica (Phillips y Brienen 2017). La deforestación y la degradación históricas afectan la estación seca, produciendo una estación seca más seca, más cálida y más larga; esto está asociado con las tendencias climáticas que hacen que los bosques sean más susceptibles a los incendios y una mayor mortalidad de los árboles, lo que afecta los sumideros de carbono, incluso en los bosques adyacentes que no se ven afectados directamente por los incendios. Estos flujos también varían geográficamente (Gatti *et al.* 2021).

En la última década, estudios ascendentes complementarios se han enfocado en estimar las emisiones y la captura de carbono de diferentes cambios en el uso y la cobertura del suelo (LUCC) (Aguiar *et al.* 2016; Assis *et al.* 2020; Aragão *et al.* 2018; Silva Junior *et al.* 2020; Crippa *et al.* 2019; Smith *et al.* 2020). Estos estudios combinaron conocimientos derivados del trabajo de campo y la teledetección en modelos. El modelo INPE-EM (Aguiar *et al.* 2016; Assis *et al.* 2020) consideró todos los componentes de LUCC, y los resultados son similares a los de los estudios de componentes específicos (Assis *et al.* 2020; Baccini *et al.* 2017), que indican emisiones netas positivas relacionadas con los procesos LUCC de alrededor de  $0,37$  a  $0,48 \text{ Pg C y}^{-1}$ . Sin embargo, existen muchas incertidumbres en tales medidas, relacionadas con la estimación de las emisiones reales de C durante la quema de biomasa, los procesos de pérdida y la captura posterior a la perturbación. Todos los estudios en la Tabla CC1 y CC2 están escalados al área de la Amazonía *sensu latissimo*, es decir, toda la ecorregión del Bosque Amazónica sin el Planalto (cerrado) (como se muestra en la Figura CC.2b) (Eva *et al.* 2005). Los estudios realizados en la Amazonía brasileña se escalan a la Amazonía *sensu latissimo* sin el Planalto brasileño, en función de la proporción de área deforestada según los análisis de MapBioma para ambas regiones.

Basado en torres de flujo de Foucault (Restrepo-Coupe *et al.* 2013; Saleska *et al.* 2013) y perfiles verticales de aeronaves (Gatti *et al.* 2021), la Figura CC.1 ilustra las diferencias regionales en el flujo de carbono relacionadas con el cambio de uso de la tierra y la presencia de bosques intactos. En general, se absorbe más carbono en la Amazonía occidental que en la oriental (Malhi *et al.* 2015; Gatti *et al.* 2021) (ver los Capítulos 4 y 6). Las distribuciones regionales de las emisiones y la captura de carbono se muestran en la Figura CC.2 (adaptado de Phillips y Brienen 2017), y están asociadas con las diferencias geográficas en el clima (principalmente la estación seca), la deforestación y los sumideros o fuentes de carbono (Gatti *et al.* 2021).

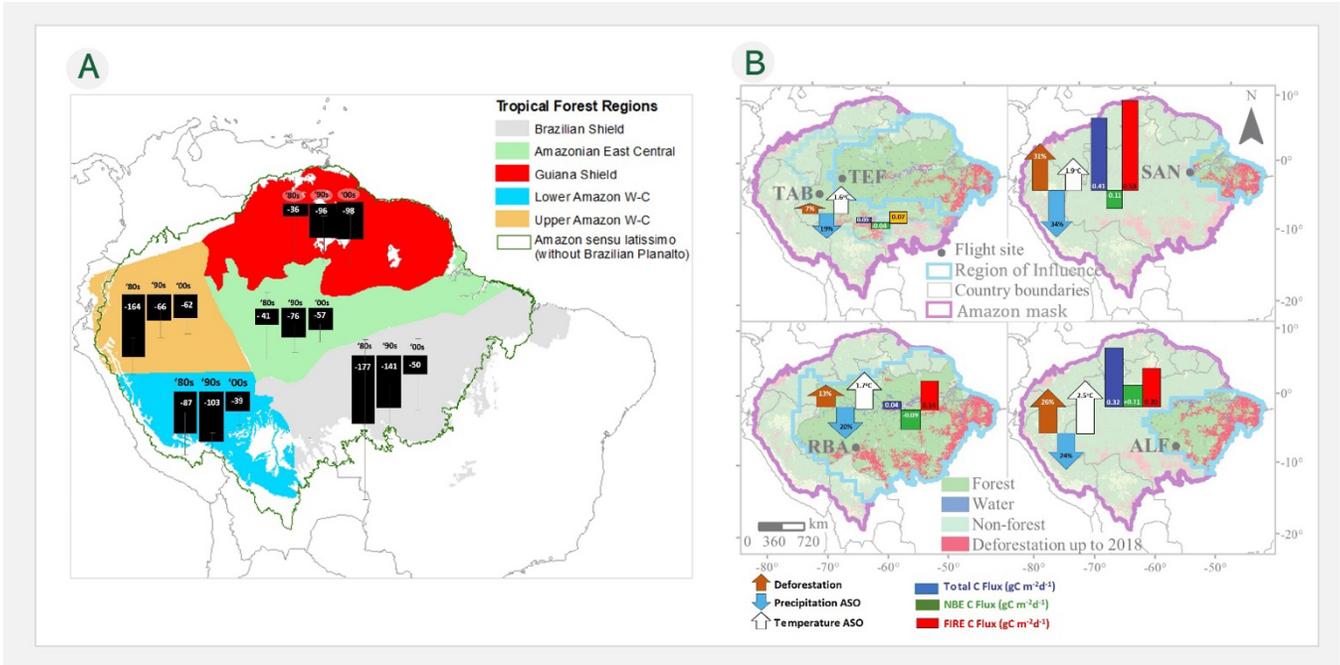
Como se señaló en el Capítulo 6, los ríos y las llanuras aluviales asociadas mueven y distribuyen el carbono lateralmente a través de la Amazonía. Altas tasas de producción primaria bruta y neta (GPP



**Figura CT.1** Mapa del Índice de Vegetación Mejorado (EVI, por sus siglas en inglés) promedio anual en la Amazonía (escala en la parte inferior, con colores más verdes que indican más fotosíntesis; producto MCD43C1 corregido por BRDF para un ángulo cenital solar de  $15^\circ$  y observado en vista nadir (Schaaf y Wang 2015). Ubicación de los sitios de torres forestales de covarianza de eddy (Restrepo-Coupe *et al.* 2013, Saleska *et al.* 2013) (puntos negros) donde se incluyeron en este análisis las mediciones de los ciclos promedio anuales de intercambio neto de ecosistemas (INE) (los gráficos en el margen, la el sombreado gris indica los meses de la estación seca): Bosque de Manaus (K34) 1999–2006, Bosque de Santarém (K67) 2001–2005, 2008–2011 y 2015–2019, Bosque de Caxiuana (CAX) 1999–2003, Bosque austral de Reserva Jarú (RJA) 2000–2002 y el bosque estacional inundado de Bananal (JAV) 2003–2006. Ubicación de sitios de perfiles verticales (cruces rojas) e intercambio de bioma neto medio mensual (INB) de los perfiles verticales de aeronaves (2010–2018) en Santarém (SAN), Alta Floresta (ALF), Rio Branco, Acre (RBA) y Tabatinga (TAB; medidas tomadas desde 2010 a 2012) y Tefé (TEF; medidas tomadas desde 2013). El INB media mensual amazónica (2010–2018) se basó en la media ponderada de los flujos para los 4 sitios de perfil vertical de aeronaves (Gatti *et al.* 2021). Las regiones de influencia para cada sitio de perfil vertical se presentan en la Figura CC2b.

y PPN) de las plantas ocurren en los ambientes acuáticos amazónicos, y grandes cantidades de dióxido de carbono son emitidas por ríos, lagos y humedales (Richey *et al.* 2002; Melack *et al.* 2009). La actividad fotosintética de los árboles emergentes y las plantas herbáceas fija el  $\text{CO}_2$  atmosférico y agrega carbono orgánico o  $\text{CO}_2$  respirado a los

ambientes acuáticos. La PPN de algas (fitoplancton y perifiton) derivada del carbono inorgánico disuelto es más pequeña y en su mayoría recicla carbono dentro del entorno acuático. Hay pocas mediciones de la productividad de los bosques inundados, y la fotosíntesis de las plantas herbáceas es difícil de extrapolar espacialmente de sitios espe-



**Figura CT.2** A) Flujos de carbono de la Amazonía en bosques maduros 1980-2000 por región (barras negras), medidos en parcelas a largo plazo de la red RAINFOR. Los valores negativos representan la captación. Las unidades están en Tg de carbono por año ( $10^{12} \text{g C y}^{-1}$ ). Adaptado de Phillips y Brienens (2017) y Feldpausch *et al.* (2011). B) Deforestación acumulada por región de influencia (limitada por líneas celestes) para sitios de perfiles verticales (flechas naranjas), reducción de 40 años de precipitación durante los meses de agosto, septiembre y octubre (ASO) (flechas azul claso), aumento de temperatura en ASO (flechas blancas) y flujos de carbono 2010-18 (Total: barras azul oscuro, intercambio neto de bioma (INB): barras verdes, Incendios: barras rojas) (Gatti *et al.* 2021).

cíficos. Por lo tanto, las estimaciones de flujos de agua a la atmósfera de  $0,7 \text{ Pg C y}^{-1}$  en la Tabla CC1 tienen una incertidumbre considerable y una gran variabilidad estacional e interanual (Melack *et al.* 2009; Abril *et al.* 2014) (ver el Capítulo 6). Se estima que las entradas anuales de carbono son de orden similar a las estimaciones de  $\text{CO}_2$  desgasificado de estos hábitats. Por lo tanto, las entradas y emisiones de  $\text{CO}_2$  en ambientes acuáticos están aproximadamente en equilibrio, cuando se integran en toda la cuenca.

Durante la última década (2010 a 2019), los estudios descendientes basados en perfiles verticales, datos satelitales y modelos brindan estimaciones del balance de carbono de la Amazonía. Estos estudios muestran grandes variaciones interanuales. Las estimaciones descendientes indican que la Amazonía en su conjunto es una fuente de carbono (pérdidas a la atmósfera) del orden de  $+0,30 \pm 0,20 \text{ Pg C y}^{-1}$  (Gatti *et al.* 2014; Feng *et al.* 2017; Baccini *et al.* 2017; Assis *et al.* 2020; Gatti *et al.* 2021), donde

las emisiones medias por Incendios representan  $0,44 \pm 0,10 \text{ Pg C y}^{-1}$  (Gatti *et al.* 2014, 2021; van der Laan-Luijkx *et al.* 2015; Baccini *et al.* 2017) (Tabla CC1) y la captura forestal media es  $-0,15 \pm 0,20 \text{ Pg C y}^{-1}$  (van der Laan-Luijkx *et al.* 2015; Alden *et al.* 2016; Baccini *et al.* 2017). Estos estudios incluyen todos los procesos en la Amazonía, incluyendo los sumideros en bosques maduros y secundarios, la recuperación de bosques perturbados y las emisiones de carbono por deforestación, degradación, tala, descomposición, incendios, combustibles fósiles y agricultura (pastos y cultivos).

Durante la última década (2010 a 2019), los estudios ascendentes indican que los bosques maduros son sumideros de carbono de  $-0,22 \pm 0,30 \text{ Pg C y}^{-1}$  (Brienens *et al.* 2015; Phillips y Brienens, 2017; Hubau *et al.* 2020), y bosques secundarios  $-0,10 \pm 0,02 \text{ Pg C y}^{-1}$ . Las emisiones de carbono incluyen incendios forestales de  $0,20 \pm 0,20 \text{ Pg C y}^{-1}$  (van der Werf *et al.* 2010; van der Laan-Luijkx *et al.* 2015; Baccini *et al.* 2017; Aragão *et al.* 2018; Silva *et al.* 2020), degradación forestal, deforestación y otras emisiones

**Tabla CT.1** Amazon carbon balance, from bottom-up and top-down studies of various sources (C losses) and sinks (C uptake) for the area of  $7.25 \times 10^6 \text{ km}^2$ .

	Período	Captura de C (PgC y <sup>-1</sup> )	Pérdidas de C (PgC y <sup>-1</sup> )	Saldo total de C (PgC y <sup>-1</sup> )
<b>Estudios ascendentes</b>				
Phillips y Brienen 2017 (Crecimiento de bosques maduros: captura; LUCC: pérdidas)	1990-99	- 0,54 ± 0,18	0,27 (LUCC) <sup>1</sup>	-0,27.
	2000-09	- 0,38 ± 0,20	0,28 (LUCC) <sup>1</sup>	-0,10.
	2010-19	- 0,20 <sup>2</sup>		
Brienen <i>et al.</i> 2015 (Crecimiento de bosques maduros: captura; LUCC: pérdidas)	1990-99	- 0,62 ± 0,09		
	2000-09	- 0,44 ± 0,10		
	2010-19	- 0,23 <sup>2</sup>		
Hubau <i>et al.</i> 2020 (Crecimiento de bosques maduros: captura; LUCC: pérdidas)	1990-99	-0,68 ± 0,15		
	2000-09	-0,45 ± 0,13		
	2010-19	-0,25 ± 0,30		
Sistema INPE-EM <sup>3,4</sup> (Deg+Def+BS, no BP)	2010-19	-0,16 ± 0,01	0,34 ± 0,09	0,18 ± 0,09
Assis <i>et al.</i> 2020 <sup>3</sup> (Deg+Def+BS, no BP)	2007-16	-0,15 ± 0,02	0,37 ± 0,08	0,23 ± 0,13
Aguiar <i>et al.</i> 2016 <sup>3</sup> (Deg+Def, no BP/BS)	2007-13	-0,06 ± 0,003	0,26 ± 0,06	0,20 ± 0,11
Silva Jr. <i>et al.</i> 2020 (Deg+Def)	2001-15		0,26 ± 0,05	
Smith <i>et al.</i> , 2020 <sup>3</sup> (Bosques Secundarios)	1985-17	- 0,10 ± 0,02		
GFED (Datos globales de incendios)	2010-18		0,18.	
Aragao <i>et al.</i> 2018 (Emisiones de incendios)	2003-15		0,21 ± 0,23	
Crippa <i>et al.</i> 2019 (base de datos EDGAR) <sup>5</sup>	2015.		0,03.	
<b>Saldo total ascendente 2010-2020</b>		<b>- 0,32 ± 0,20<sup>6</sup></b>	<b>0,55 ± 0,20<sup>7</sup></b>	<b>+ 0,23 ± 0,20</b>
<b>Sistemas acuáticos</b>				
Ríos			0,14 ± 0,04	
Lagos y plantas flotantes			0,03 ± 0,01	
Corrientes			0,10 ± 0,03	
Llanuras aluviales boscosas			0,26 ± 0,8	
Otros humedales			0,16 ± 0,5	
Embalses hidroeléctricos			0,01 ± 0,003	
<b>Equilibrio total de C acuático</b>		<b>-0,7 ± 0,3</b>	<b>0,7 ± 0,2</b>	<b>-0</b>
<b>Estudios descendentes</b>				
Gatti <i>et al.</i> 2021 (Modelado de Inv./aeronaes)	2010-18	- 0,12 ± 0,40 (INB) <sup>8</sup>	0,41 ± 0,05 (Incendios)	0,29 ± 0,40
Gatti <i>et al.</i> 2014 (Modelado de Inv./aeronaes)	2010-11	- 0,15 ± 0,18 (INB) <sup>8</sup>	0,43 ± 0,10 (Incendios)	0,28 ± 0,14
Alden <i>et al.</i> 2016 (Modelado de inversión bayesiana regional)	2010-12	-0,14 ± 0,32		
Van der Laan-Luijkx <i>et al.</i> 2015 (modelos: IASI, GFED4, GFAS, FINN, SIBCASA-GFED4)	2010-11	-0,27 ± 0,42 <sup>9</sup>	0,24 ± 0,42 (Incendios) <sup>9</sup>	
Feng <i>et al.</i> 2017 (satélite/aeronave/modelado)	2010-14			0,32 ± 0,14
Baccini <i>et al.</i> 2017 (MODIS satélite pantropical y modelado)	2003-14	-0,18 ± 0,02	0,48 ± 0,07	0,30 ± 0,07
<b>Saldo total descendente 2010-20</b>		<b>- 0,15 ± 0,20</b>	<b>0,44 ± 0,10</b>	<b>+ 0,30 ± 0,20</b>

1- Cambios en el uso de la tierra de LUCC, incluyendo los efectos de fragmentación y de borde, la tala, los incendios, la regeneración secundaria y la perturbación posterior

2- Extrapolado usando la tendencia

3- Escalado a la Amazonía *sensu latissimo*, sin Planalto utilizando deforestación de MapBiomass

4- Sistema Operativo INPE-EM: <http://inpe-em.ccst.inpe.br/en/>

5- Sector Energía, Procesos Industriales y Uso de Productos, y Quema de Residuos Agrícolas

6- Captación BP + BS (-0,22 + (-10)). Bosque Primario (BP), Bosque Secundario (BS);

7- Pérdidas Assis (2020) pérdidas por Deforestación (Def) + Degradación (Deg): 0,37 + Incendios: 0,15 (0,20 - 0,05 (calculado por Assis)) + energía: 0,03.

8- INB (Intercambio neto de bioma: flujo total de C menos Incendios);

9- Resultados cualitativos para comparación entre 2010 y 2011, no utilizados cuantitativamente.

Tabla CT.2 Emisiones de Metano

	Período	Captación de CH <sub>4</sub>	Emisión de CH <sub>4</sub> por Incendios	Emisión total de CH <sub>4</sub>
Área normalizada 7,25 x 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>		(TgCH <sub>4</sub> y <sup>-1</sup> )	(TgCH <sub>4</sub> y <sup>-1</sup> )	(TgCH <sub>4</sub> y <sup>-1</sup> )
<b>Estudios de ascendente</b>				
<b>Emisiones naturales</b>				
Ríos				0,7 ± 0,2
Lagos				0,7 ± 0,2
Corrientes				0,4 ± 0,2
Llanuras aluviales boscosas				
Flujo de la superficie del agua				16,4 ± 5
Flujo de árboles				18,2 ± 5,5
Flujo del suelo expuesto				1,1 ± 0,2
Otros humedales				7 ± 2
Suelos de montaña*		1,0 - 3,0		
<b>Antropogénico</b>				
Embalses hidroeléctricos				2,0 ± 0,6
Sector energético**	2015.			0,8.
Desperdicios**	2015.			0,5.
Agricultura**	2015.			4,7.
<b>Estudios descendientes</b>				
<b>Aeronaves/Estudios de Modelado</b>				
Basso <i>et al.</i> 2021.	2010-18		7,7 ± 1,6	46,2 ± 10,3
Wilson <i>et al.</i> 2021.	2010-13			40,1 ± 5,6
	2014-17			47,9 ± 5,5
Pangala <i>et al.</i> 2017 (Técnica de Presupuesto de Columna)	2010-13		4,2 ± 0,7	46,2 ± 6,1
Wilson <i>et al.</i> 2016 (modelo de transporte químico atmosférico tridimensional)	2010-11		2,2 ± 1,5	37,5 - 50,8
<b>Estudios de modelado/satélite</b>				
Bergamaschi <i>et al.</i> 2009 (modelado inverso + recuperaciones SCIAMACHY revisadas)	2004.			40,0 – 44,7
Fraser <i>et al.</i> 2014 (modelado inverso y GOSAT)	2010.			44,6 ± 2,4

\*Estimado por Davidson y Artaxo 2004

\*\*Emisiones basadas en la base de datos EDGAR para el año 2015

de carbono de  $0,32 \pm 0,10 \text{ Pg C y}^{-1}$  (Aguiar *et al.* 2016; Assis *et al.* 2020; Smith *et al.* 2020; Silva Junior *et al.* 2020), donde las emisiones por incendios por deforestación son  $0,05 \pm 0,01 \text{ Pg C y}^{-1}$  (Aguiar *et al.* 2016; Assis *et al.* 2020), que representan el 14% del total de incendios, incluidos en la estimación total de emisiones por incendios. Las emisiones estimadas del sector energético son de  $0,03 \text{ Pg C y}^{-1}$  (Crippa *et al.* 2019). Combinando el crecimiento de los bosques maduros, el rebrote secundario, los procesos LUCR y las emisiones por incendios (restando los incendios incluyendo en la deforestación), la Amazonía es actualmente una fuente de carbono que

representa  $0,23 \pm 0,20 \text{ Pg C y}^{-1}$ , un poco menos que las emisiones netas estimadas de estudios descendientes. Quedan grandes incertidumbres, especialmente debido a la falta de conocimiento sobre las emisiones de la degradación, la descomposición y las emisiones por incendios (ver el Capítulo 19).

Los resultados descendientes y ascendentes indican que la Amazonía en su conjunto es fuente de carbono,  $0,30 \pm 0,20 \text{ Pg C y}^{-1}$  y  $0,23 \pm 0,20 \text{ Pg C y}^{-1}$ , respectivamente.

### CT1.2. Emisiones de metano

Las descripciones de los flujos de metano terrestre y acuático, los procesos y el balance de CH<sub>4</sub> se muestran en el Capítulo 6. Para la comparación con el presupuesto de CO<sub>2</sub>, escalamos las estimaciones de CH<sub>4</sub> a la misma área (7,25x10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>); un ajuste proporcional basado en las dos áreas y suponiendo que se representen hábitats suficientemente similares. Las estimaciones descendientes y ascendentes para esta región tienen un acuerdo razonable dadas las considerables incertidumbres en estos flujos (Tabla CC2). Los flujos de CH<sub>4</sub> de los ambientes acuáticos naturales en la cuenca Amazónica se estiman en aproximadamente 44,5 Tg CH<sub>4</sub> y<sup>-1</sup>. Variaciones interanuales en el área de hábitats inundados y los flujos altamente variables asociados con la ebullición desgasificada por los árboles, y diferencias temporales y espaciales en las concentraciones de CH<sub>4</sub> disuelto y las velocidades de intercambio de gases (Melack *et al.* 2004; Pangala *et al.* 2017; Barbosa *et al.* 2020) hacen que las estimaciones de incertidumbre solo sean aproximadas. Las estimaciones de las emisiones antropogénicas de CH<sub>4</sub> basadas en el modelo EDGAR v.5.0 incluyen la producción de energía, la agricultura, los procesos industriales, los usos de productos y el manejo de residuos. Estas fuentes aportan 6 Tg CH<sub>4</sub> y<sup>-1</sup>, siendo las emisiones de la agricultura responsables del 78% y la fermentación entérica la principal fuente de este sector (93%), destacando la importancia de la ganadería en las emisiones antropogénicas de metano amazónico. Los flujos del medio 159 a grandes embalses hidroeléctricos actualmente en la cuenca Amazónica, excluyendo los de la cuenca baja del Tocantins e incluyendo los principales en Venezuela, Surinam y la Guayana Francesa, totalizan 2 Tg CH<sub>4</sub> y<sup>-1</sup>.

### CC1.3. Referencias

- Abril G, Martínez J-M, Artigas LF, *et al.* 2014. Amazon River carbon dioxide outgassing fuelled by wetlands. *Nature* **505**: 395–8.
- Aguiar APD, Vieira ICG, Assis TO, *et al.* 2016. Land use change emission scenarios: anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon. *Glob Chang Biol* **22**: 1821–40.
- Alden CB, Miller JB, Gatti L V., *et al.* 2016. Regional atmospheric CO<sub>2</sub> inversion reveals seasonal and geographic differences in Amazon net biome exchange. *Glob Chang Biol* **22**: 3427–43.
- Aragão LEOC, Anderson LO, Fonseca MG, *et al.* 2018. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nat Commun* **9**: 536.
- Assis TO, Aguiar APD de, Randow C von, *et al.* 2020. CO<sub>2</sub> emissions from forest degradation in Brazilian Amazon. *Environ Res Lett* **15**: 104035.
- Baccini A, Walker W, Carvalho L, *et al.* 2017. Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. *Science* **358**: 230–4.
- Barbosa PM, Melack JM, Amaral JHF, *et al.* 2020. Dissolved methane concentrations and fluxes to the atmosphere from a tropical floodplain lake. *Biogeochemistry* **148**: 129–51.
- Bergamaschi P, Frankenberg C, Meirink JF, *et al.* 2009. Inverse modeling of global and regional CH<sub>4</sub> emissions using SCIAMACHY satellite retrievals. *J Geophys Res* **114**: D22301.
- Basso, L.S., Marani, L., Gatti, L.V., *et al.* 2021. Amazon methane budget derived from multi-year airborne observations highlights regional variations in emissions. *Communications Earth and Environment*.
- Brienen RJW, Phillips OL, Feldpausch TR, *et al.* 2015. Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature* **519**: 344–8.
- Crippa, M, Guizzardi, D, Muntean, M, *et al.* 2019. EDGAR v5.0 Greenhouse Gas Emissions. European Commission, Joint Research Centre (JRC) [Dataset] PID: <http://data.europa.eu/89h/488dc3de-f072-4810-ab83-47185158ce2a>.
- Davidson EA and Artaxo P. 2004. Globally significant changes in biological processes of the Amazon Basin: results of the Large-scale Biosphere-Atmosphere Experiment. *Glob Chang Biol* **10**: 519–29.
- Eva HD, Huber O., Achard F., *et al.* 2005. A proposal for defining the geographical boundaries of Amazonia [Synthesis of the results from an Expert Consultation Workshop organized by the European Commission in collaboration with the Amazon Cooperation Treaty Organization-JRC Ispra, 7-8 June 2005]. Lux-embourg.
- Hoorn C, Wesselingh FP, Steege H ter, *et al.* 2010. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. *Science* **330**: 927–31.
- Feng L, Palmer PI, Bösch H, *et al.* 2017. Consistent regional fluxes of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> inferred from GOSAT proxy XCH<sub>4</sub>:XCO<sub>2</sub> retrievals, 2010-2014. *Atmos Chem Phys* **17**: 4781–97.
- Feldpausch T., Banin L., Phillips O. L. *et al.* 2011. Height-diameter allometry of tropical forest trees. *Biogeosciences*, **8**: 1081–1106.
- Fraser A, Palmer PI., Feng L, *et al.* 2014. Estimating regional fluxes of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> using space-borne observations of XCH<sub>4</sub>:XCO<sub>2</sub>. *Atmos Chem Phys Discuss* **14**: 15867–94.
- Gatti L V., Basso LS, Miller JB, *et al.* 2021. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature* **595**: 388–93.
- Gatti L V., Gloor M, Miller JB, *et al.* 2014. Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements. *Nature* **506**: 76–80.
- Hubau W, Lewis SL, Phillips OL, *et al.* 2020. Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests. *Nature* **579**: 80–7.
- Laan-Luijkx IT van der, Velde IR van der, Krol MC, *et al.* 2015. Response of the Amazon carbon balance to the 2010 drought

- derived with CarbonTracker South America. *Global Biogeochem Cycles* **29**: 1092–108.
- Malhi Y, Doughty CE, Goldsmith GR, et al. 2015. The linkages between photosynthesis, productivity, growth and biomass in lowland Amazonian forests. *Glob Chang Biol* **21**: 2283–95.
- MapBiomas Amazonia. 2020. Collection 2.0 of annual maps of land cover, land use and land use changes between 1985 to 2018 in the Pan-Amazon. <https://amazonia.mapbiomas.org/>.
- Melack JM, Hess LL, Gastil M, et al. 2004. Regionalization of methane emissions in the Amazon Basin with microwave remote sensing. *Glob Chang Biol* **10**: 530–44.
- Melack JM, Novo EMLM, Forsberg BR, et al. 2009. Floodplain ecosystem processes. Pages 525-541. In J. Gash, M. Keller and P. Silva-Dias (eds.). Amazonia and Global Change. Geophysical Monograph Series 186. American Geophysical Union.
- Pangala SR, Enrich-Prast A, Basso LS, et al. 2017. Large emissions from floodplain trees close the Amazon methane budget. *Nature* **552**: 230–4.
- Phillips OL and Brienen RJW. 2017. Carbon uptake by mature Amazon forests has mitigated Amazon nations' carbon emissions. *Carbon Balance Manag* **12**: 1–9.
- Restrepo-Coupe N, Rocha HR da, Hutryra LR, et al. 2013. What drives the seasonality of photosynthesis across the Amazon basin? A cross-site analysis of eddy flux tower measurements from the Brasil flux network. *Agric For Meteorol* **182**: 128–44.
- Richey JE, Melack JM, Aufdenkampe AK, et al. 2002. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature* **416**: 617–20.
- Saleska, S.R., H.R. da Rocha, A.R. Hueyte et al. 2013. LBA-ECO CD-32 Flux Tower Network Data Compilation, Brazilian Amazon: 1999-2006. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA.
- Schaaf C and Wang Z. 2015. MCD43C1 MODIS/Terra+Aqua BRDF/AlbedoModel Parameters Daily L3 Global 0.05Deg CMG V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC <https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd43c1v006/#citation>.
- Silva CVJ, Aragão LEOC, Young PJ, et al. 2020. Estimating the multi-decadal carbon deficit of burned Amazonian forests. *Environ Res Lett* **15**: 114023.
- Silva Junior CHL, Aragão LEOC, Anderson LO, et al. 2020. Persistent collapse of biomass in Amazonian forest edges following deforestation leads to unaccounted carbon losses. *Sci Adv* **6**: eaaz8360.
- Smith CC, Espírito-Santo FDB, Healey JR, et al. 2020. Secondary forests offset less than 10% of deforestation-mediated carbon emissions in the Brazilian Amazon. *Glob Chang Biol* **26**: 7006–20.
- van der Werf, G.R, Randerson JT, Giglio L, et al. 2010. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). *Atmos Chem Phys* **10**: 11707–35.
- van der Laan-Luijkx, I. T, Velde IR van der, Krol MC, et al. 2015. Response of the Amazon carbon balance to the 2010 drought derived with CarbonTracker South America. *Global Biogeochem Cycles* **29**: 1092–108.
- Wilson C, Chipperfield MP, Gloor M, et al. 2021. Large and increasing methane emissions from eastern Amazonia derived from satellite data, 2010–2018. *Atmos Chem Phys* **21**: 10643–69.

CONTACT INFORMATION

**SPA Technical-Scientific Secretariat New York**

**475 Riverside Drive, Suite 530**

**New York NY 10115**

**USA**

**+1 (212) 870-3920**

**spa@unsdsn.org**

**SPA Technical-Scientific Secretariat South America**

**Av. Ironman Victor Garrido, 623**

**São José dos Campos – São Paulo**

**Brazil**

**spasouthamerica@unsdsn.org**

WEBSITE [theamazonwewant.org](http://theamazonwewant.org)

INSTAGRAM [@theamazonwewant](https://www.instagram.com/theamazonwewant)

TWITTER [@theamazonwewant](https://twitter.com/theamazonwewant)