

Conexión Climática Global

Atmósfera, Océano y Amazonía

Mensajes clave

- La Amazonía enfrenta una creciente presión climática, con proyecciones que indican un aumento continuo de las temperaturas en las próximas décadas.
- Los sistemas de circulación atmosférica y oceánica que regulan el clima global ejercen una influencia directa sobre el régimen hidrológico de la Amazonía.
- Los océanos absorben más del 90% del exceso de calor del planeta y regulan la humedad y la temperatura regionales. El calentamiento del Atlántico y el debilitamiento de la AMOC comprometen el transporte de humedad hacia la Amazonía, afectando su régimen hidrológico.
- Como consecuencia, existe un riesgo creciente de desequilibrio en los llamados Ríos Voladores, flujos atmosféricos de vapor de agua que sostienen el régimen de lluvias y la estabilidad ecológica de la selva amazónica.
- Integrar el conocimiento científico en las políticas públicas es esencial para fortalecer la resiliencia de la Amazonía, orientando acciones eficaces de adaptación y mitigación frente a los crecientes desafíos climáticos.

Conexiones climáticas en la Amazonía

Las interacciones entre océano y atmósfera son fundamentales para el régimen de lluvias de la Amazonía. Los cambios en estas conexiones afectan el transporte de humedad hacia la región y aumentan el riesgo de sequías e inestabilidad climática. Los Modelos Climáticos Globales, ampliamente utilizados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), ayudan a comprender estas dinámicas y proyectar escenarios futuros, orientando acciones de adaptación y mitigación. Estos modelos se basan en las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSPs), donde el escenario pesimista de altas emisiones (SSP-585) podría llevar a un calentamiento global superior a 4 °C hacia 2100. Este escenario, usado como referencia en análisis de riesgo, indica una mayor vulnerabilidad de la Circulación Meridional del Atlántico (*Atlantic Meridional Overturning Circulation* – AMOC) a un debilitamiento acentuado, lo que interfiere en elementos clave para la Amazonía, como el océano.

EL PAPEL DEL OCÉANO EN EL CLIMA DE LA AMAZONÍA

El océano es el principal regulador del clima global. Absorbe más del 90% del calor adicional causado por las emisiones de gases de efecto invernadero¹. Este calentamiento ha sido intenso en el Atlántico tropical, donde la temperatura superficial del mar viene aumentando aceleradamente. Cuando el océano se calienta, hay más evaporación y humedad en el aire, lo que desplaza la franja donde los vientos de ambos hemisferios se encuentran y forman nubes y lluvias intensas: la

Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), alterando los patrones de lluvias y sequías en la Amazonía.

Entre 2023 y 2024, la temperatura superficial del mar alcanzó niveles históricos, especialmente en el Atlántico Norte², que registró 0,42 °C por encima del récord anterior, según la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (*National Oceanic and Atmospheric Administration* - NOAA). Las proyecciones indican que esta tendencia continuará. En escenarios pesimistas, la temperatura del Atlántico podría aumentar más de 2 °C hacia 2050, incrementando el almacenamiento de calor en las capas superficiales del océano (Fig. 1). Investigaciones muestran que el calentamiento del Atlántico Norte tropical desempeña un papel central en la tendencia de reducción de la precipitación en la Amazonía, especialmente durante la estación seca, que podría haber disminuido hasta en un 30% en las últimas décadas³. Este calentamiento modifica los patrones de circulación oceánica y atmosférica, interfiriendo directamente en la dinámica de lluvias de la región.

Además, este calentamiento acelera el deshielo en los polos y aumenta la entrada de agua dulce en el Atlántico Norte, reduciendo su salinidad. Esto debilita la Circulación Meridional del Atlántico (AMOC), un sistema esencial para redistribuir calor y mantener la estabilidad climática global y regional⁴, como en la Amazonía, la mayor selva tropical del mundo, que desempeña un papel crítico en la regulación del sistema climático global.⁵ (Fig. 2)

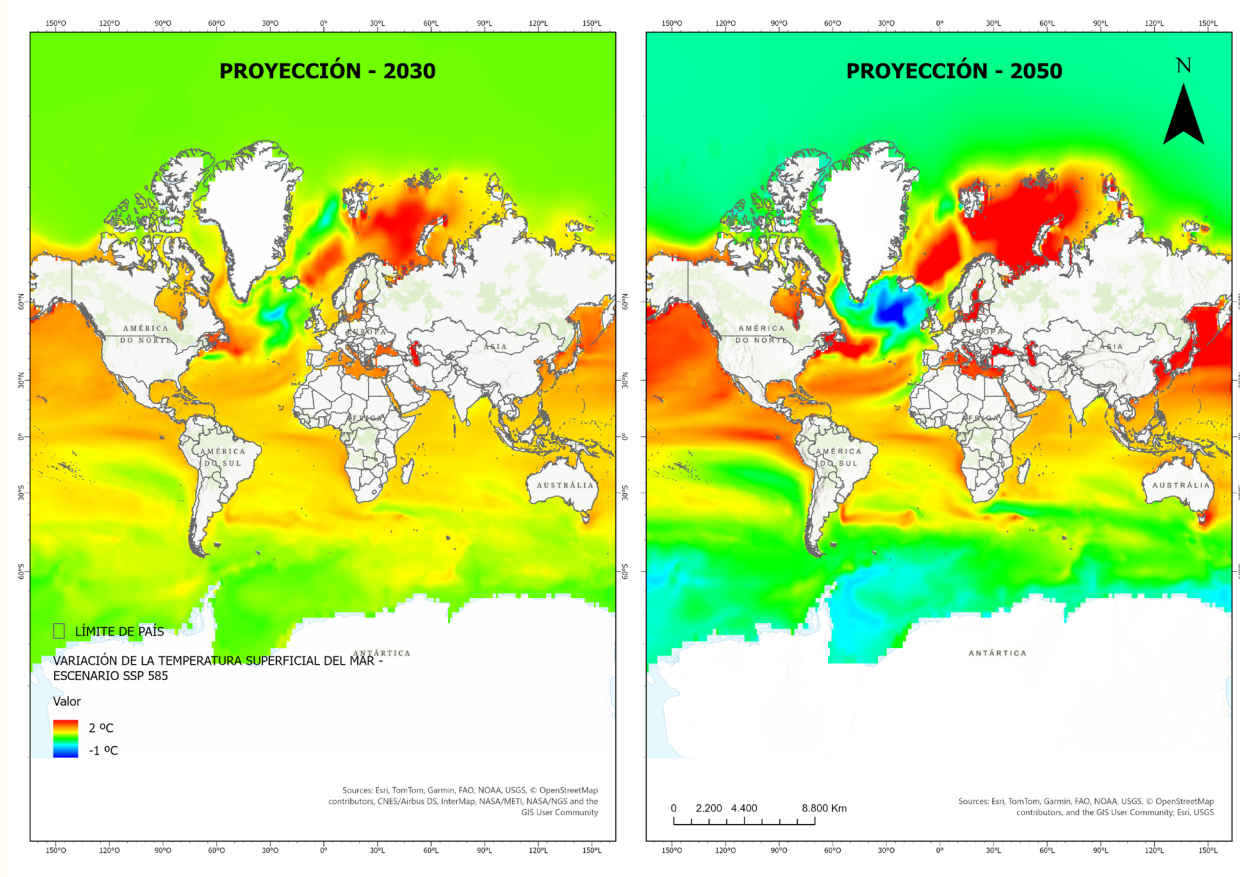


Figura 1. Media del conjunto multimodelo (MME) del cambio de la Temperatura Superficial del Mar (ΔTSM) (°C) para las proyecciones de 2030 y 2050, referentes al período 1970-2000 en el escenario SSP-585. Fuente: Autor.

¿CÓMO INFLUYE LA AMOC EN LAS LLUVIAS DE LA AMAZONÍA?

La AMOC impacta directamente las lluvias en la Amazonía, ya que regula el gradiente de temperatura del Atlántico y la posición de la ZCIT. Cuando la AMOC se debilita, se transporta menos calor hacia el Hemisferio Norte, lo que calienta relativamente más al Atlántico Sur y desplaza la ZCIT hacia el sur. El resultado es un cambio en la intensidad y la estacionalidad de las lluvias, aumentando la frecuencia y la gravedad de las sequías amazónicas.

Estas sequías ya son una realidad. La región enfrentó eventos extremos en 2005, 2010, 2015, 2016 y 2023, muchos asociados al calentamiento anómalo de los océanos Atlántico y Pacífico^{6,7,8}. En 2024, la temperatura media global superó los 1,5 °C⁹, y las proyecciones indican más calor y sequías prolongadas en los próximos años, colocando a la Amazonía en una condición crítica.

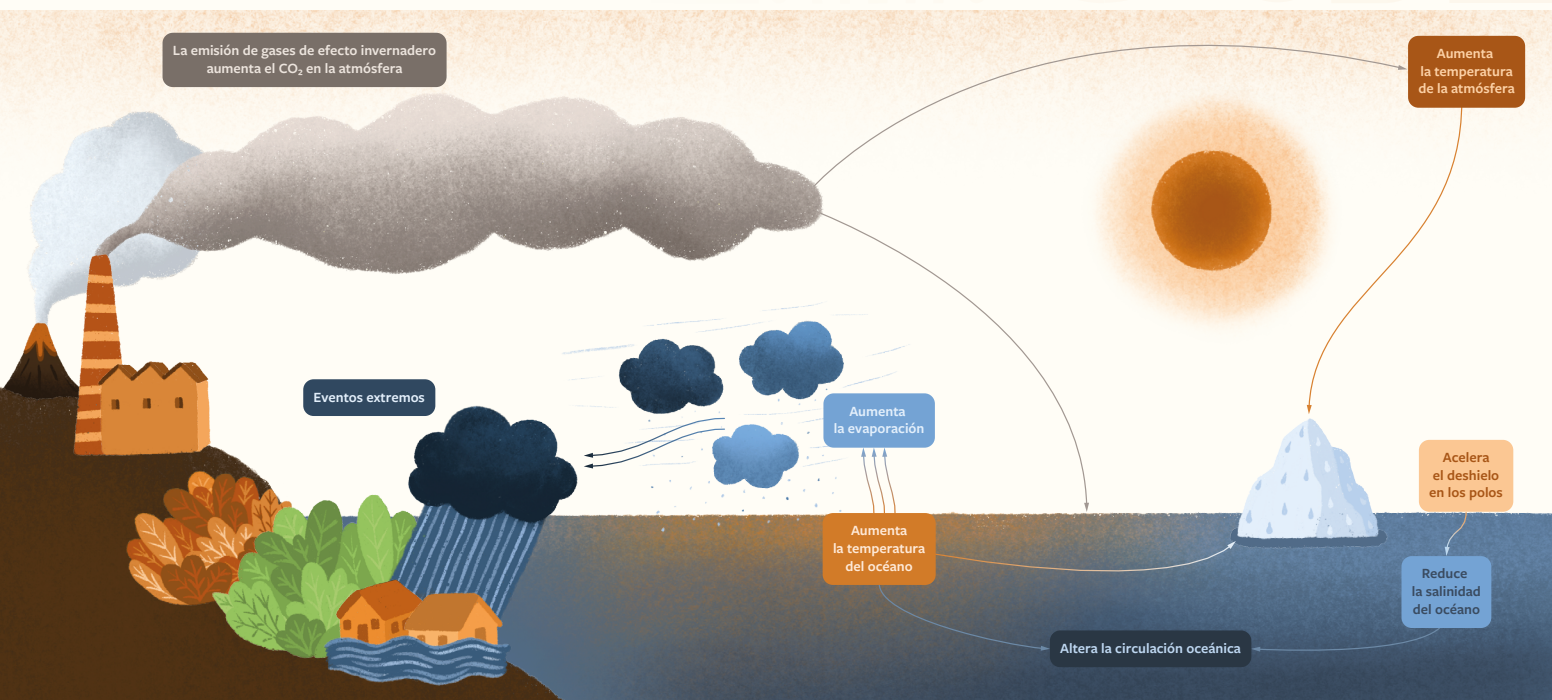


Figura 2. Interacción océano-atmósfera bajo el efecto del cambio climático en el Océano Atlántico.

Proyecciones climáticas en la Amazonía

Los modelos climáticos y los datos observacionales indican que las alteraciones en la temperatura superficial terrestre y oceánica ya afectan el régimen de lluvias en la región, aumentando la frecuencia e intensidad de sequías y lluvias extremas^{10,11}. La continuidad de estas presiones puede llevar a transiciones ecológicas irreversibles, puntos de no retorno, con la sustitución de la selva húmeda por vegetaciones estacionales menos complejas, como las sabanas, resultando en pérdida de biodiversidad, capacidad de almacenamiento de carbono e impactos en cascada para el clima continental^{12,13}.

La comprensión del cambio climático en la cuenca amazónica depende de la integración entre observaciones locales, reanálisis regionales y modelos climáticos globales y regionales, capaces de representar la compleja interacción entre selvas, atmósfera y océanos. Estos modelos permiten simular impactos, evaluar riesgos y orientar estrategias de mitigación y adaptación.

CAMBIOS EN LA PRECIPITACIÓN: SEÑAL DE ALERTA

Las proyecciones climáticas apuntan a una reducción de las lluvias en la Amazonía, con áreas críticas ya previstas para la agenda de 2030 y con tendencia de intensificación hasta 2050 (Fig. 3). Este

patrón aumenta el riesgo de sequías extremas e inundaciones estacionales, comprometiendo: a) biodiversidad; b) agricultura y transporte fluvial; c) disponibilidad hídrica y d) flujo de humedad que sostiene los Ríos Voladores.

Estos impactos interconectados pueden llevar a la selva a superar un punto de no retorno, perdiendo su capacidad de regeneración y desencadenando un colapso ecológico. La Amazonía dejaría de ser un sumidero de carbono, agravando aún más el calentamiento global y evidenciando la interdependencia entre la estabilidad amazónica y el clima planetario.

RÍOS VOLADORES: CORREDORES DE HUMEDAD EN RIESGO

Los llamados Ríos Voladores son flujos de vapor de agua generados por la evapotranspiración de la selva amazónica y transportados por vientos de baja altitud hacia regiones centrales y meridionales de América del Sur. Estos flujos son esenciales para regular las lluvias en el continente.

Sin embargo, el cambio climático, como el aumento de la temperatura y las sequías prolongadas, combinado con la degradación forestal, reduce la recarga de humedad, comprometiendo la formación y la estabilidad de estos corredores atmosféricos. Estudios indican que la deforestación puede reducir la precipitación regional entre el 10 y el 20%, agravando aún más la pérdida progresiva de los ríos voladores.¹⁴

La fragilidad de estos sistemas evidencia que la Amazonía no responde únicamente a presiones locales, sino que está profundamente conectada con la dinámica climática global. La pérdida de los Ríos Voladores tendría impactos severos en la seguridad hídrica, la producción agropecuaria y la generación de energía, aunque estos costos aún son difíciles de estimar.

CALENTAMIENTO GLOBAL E IMPACTOS LOCALES

Los modelos climáticos globales proyectan un aumento continuo de la temperatura a lo largo del siglo XXI, con un calentamiento más acentuado en el Hemisferio Norte en comparación con el Sur (Fig. 4). Este patrón asimétrico refleja la desigualdad histórica en las emisiones de gases de efecto invernadero, concentradas mayoritariamente en los países del Norte Global, mientras que regiones tropicales como la Amazonía, que han contribuido poco al problema, enfrentan de manera desproporcionada los impactos del calentamiento global.

El aumento de las temperaturas y la alteración en los patrones de precipitación agravan la vulnerabilidad ecológica y socioambiental de la selva, evidenciando una asimetría entre responsabilidad y exposición a los riesgos climáticos. Para la Amazonía, las proyecciones indican un calentamiento de hasta 2,5 °C hacia 2050 para altas emisiones (Fig.4). Este escenario amenaza ecosistemas sensibles, afectando la resiliencia socioambiental de la región y amplificando los impactos sobre la biodiversidad, el ciclo hidrológico y las poblaciones que dependen de la selva.

Frente a esta desigualdad climática, la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA) fortalece la cooperación entre los países amazónicos, integrando datos e información científica a través del Observatorio Regional Amazónico (ORA), con el fin de mejorar los mecanismos regionales de adaptación y mitigación.

REGULACIÓN TÉRMICA POR LAS CIRCULACIONES ATMOSFÉRICA Y OCEÁNICA

La estabilidad del sistema climático global y de ecosistemas sensibles como la Amazonía depende de la regulación térmica promovida por las circulaciones atmosférica y oceánica, que redistribuyen el exceso de calor desde los trópicos hacia latitudes más altas.

En la atmósfera, los flujos de circulación latitudinal y longitudinal redistribuyen calor y humedad entre los trópicos, influyendo directamente en la posición de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), franja de inestabilidad atmosférica que regula la ocurrencia e intensidad de las lluvias en la región amazónica. La ZCIT es una franja cercana al Ecuador donde los vientos de ambos hemisferios se encuentran, haciendo que el aire caliente y húmedo ascienda y genere nubes y lluvias. Esta franja se desplaza a lo largo del año, acompañando las áreas más calentadas de la superficie terrestre y de los océanos.

En el océano, el transporte de calor ocurre a través de las corrientes superficiales, impulsadas por los vientos, y por la circulación termohalina —resultado de diferencias de temperatura y salinidad en las aguas profundas—, que conecta las cuencas oceánicas a lo largo de miles de kilómetros. Uno de los principales sistemas involucrados en este proceso es la Circulación Meridional del Atlántico (AMOC), una corriente de gran escala que funciona como una “cinta transportadora” de calor entre el Hemisferio Sur y el Hemisferio Norte.

La AMOC lleva aguas cálidas hacia el norte del océano Atlántico, donde estas aguas se enfrían, se vuelven más densas, se hunden y regresan hacia el sur. La AMOC actúa influenciando los gradientes térmicos inter-hemisféricos, consecuentemente, la posición de la ZCIT, fundamental para el equilibrio térmico del planeta e influye directamente en el clima de varias regiones, incluyendo la Amazonía.

La humedad que alimenta la precipitación amazónica y que influye en los Ríos Voladores, proviene mayoritariamente del Atlántico tropical, siendo transportada por vientos del este. La interacción entre el océano y la atmósfera modula el aporte de esta humedad sobre la cuenca amazónica.



Circulación Meridional de Vuelco del Atlántico (AMOC)

Transporta aguas cálidas (superior)



Transporta aguas frías (inferior)



Ríos voladores



Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)



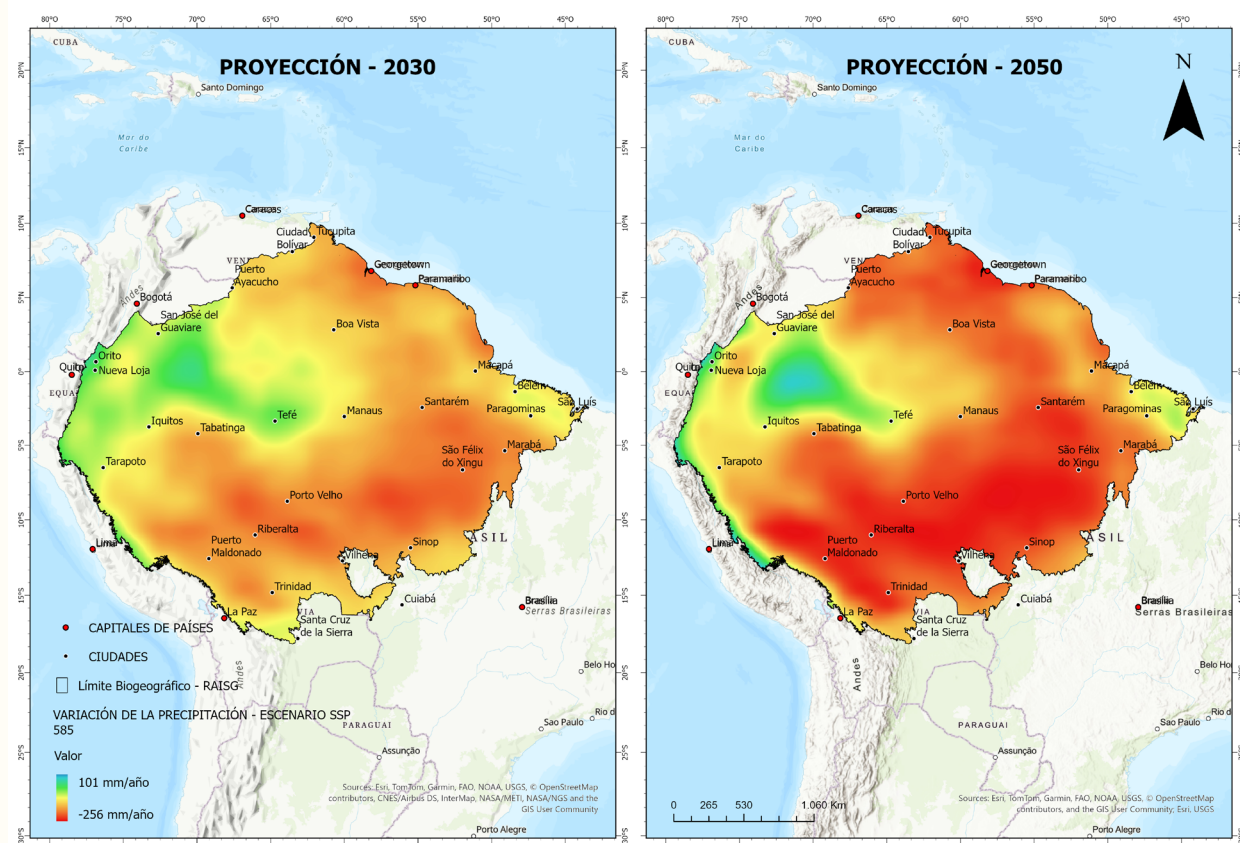


Figura 3. Media del conjunto de multimodelo (media MME) de la variación de la precipitación (mm/año) para proyecciones en 2030 y 2050 con referencia al período 1970-2000 en el cenário SSP-585 en la Amazonia. Fuente: Autor.

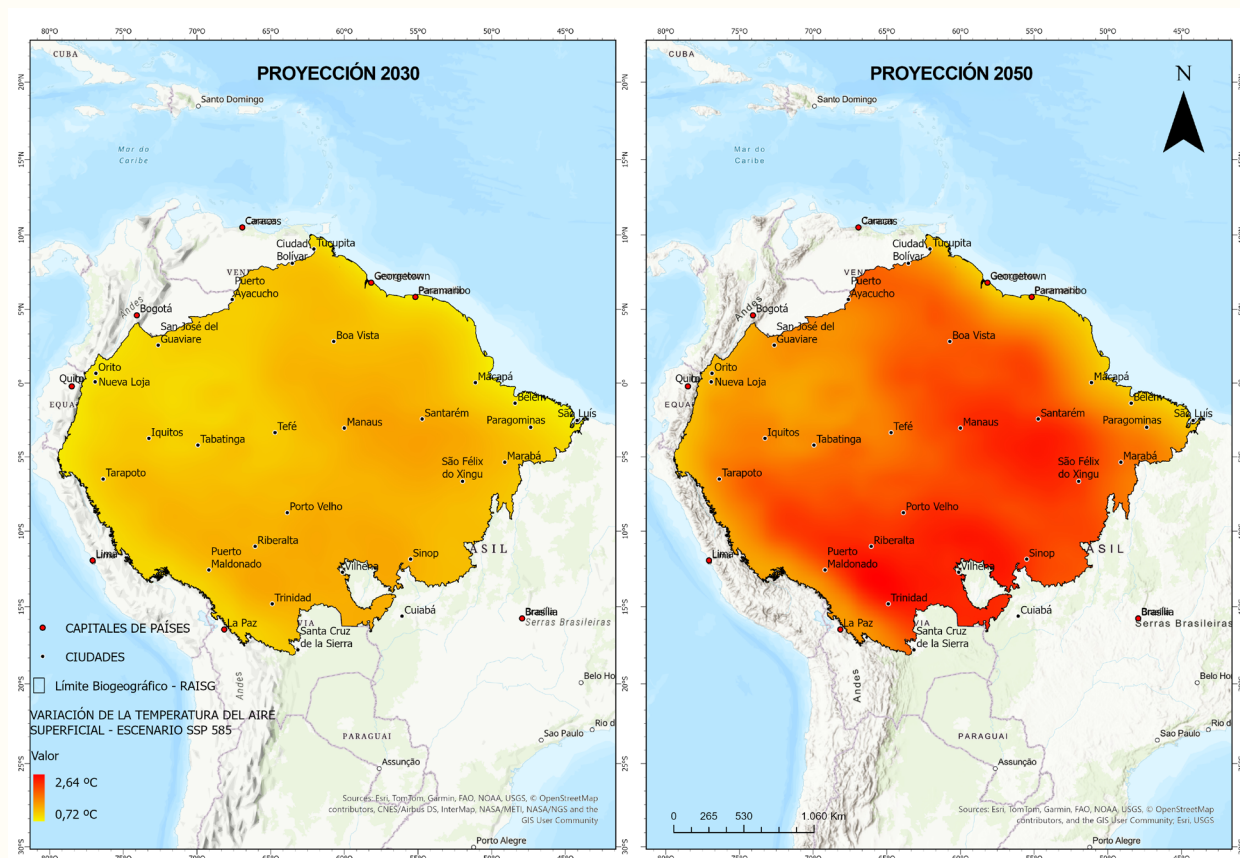
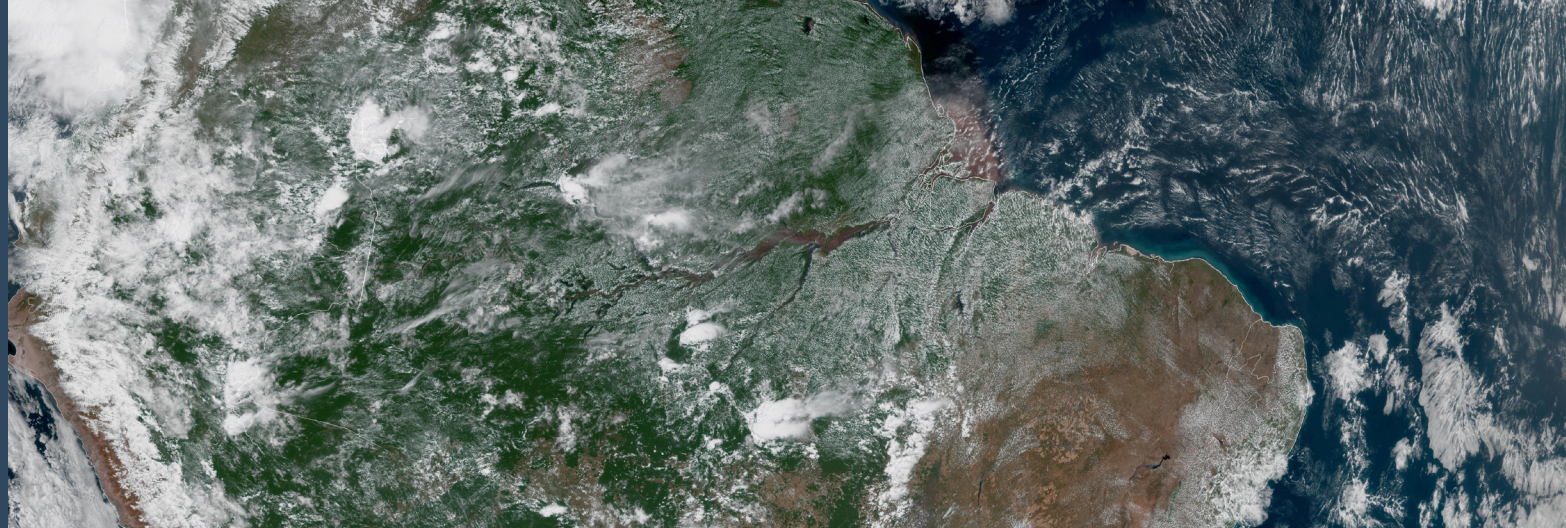


Figura 4. Media del conjunto multimodelo (media MME) del cambio proyectado de la temperatura superficial del aire (°C) para 2030 y 2050, con referencia al período 1970-2000 para el escenario SSP-585 en la Amazonia. Fuente: Autor



Recomendaciones

INTENSIFICAR LA COOPERACIÓN CIENTÍFICA E INSTITUCIONAL

Fortalecer redes integradas de monitoreo climático en la Amazonía, con énfasis en la AMOC, elemento crítico de la estabilidad climática global y modulador de las lluvias amazónicas.

INDICADORES CLIMÁTICOS EN LOS PLANES NACIONALES DE ADAPTACIÓN (NAPS)

Integrar variables oceánicas y atmosféricas, como el calentamiento del Atlántico tropical, a los NAPS, anticipando riesgos hidrometeorológicos.

DESARROLLAR E IMPLEMENTAR MECANISMOS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN

Basados en datos científicos actualizados, que consideren la dinámica ecológica de la selva, la vulnerabilidad climática de los territorios y las necesidades socioeconómicas de las poblaciones amazónicas.

PROTEGER A LOS PUEBLOS INDÍGENAS EN AISLAMIENTO Y CONTACTO INICIAL (PIACI)

Fortalecer instrumentos de salvaguarda del patrimonio cultural inmaterial y valorar los ecosistemas amazónicos, terrestres y acuáticos, como fundamentales para la biodiversidad, la seguridad hídrica y la resiliencia climática.

FORTALECER LA CORRESPONSABILIDAD INTERNACIONAL EN LA PROTECCIÓN DE LA AMAZONÍA

Reconocer la vulnerabilidad amazónica: a pesar de ser un importante sumidero de carbono, la región sufre de forma desproporcionada los impactos del cambio climático debido a su elevada sensibilidad tropical y a la asimetría estructural de las emisiones globales, concentradas en el Hemisferio Norte.

GARANTIZAR UNA COOPERACIÓN INTERNACIONAL JUSTA PARA FORTALECER LA RESILIENCIA REGIONAL Y REDUCIR RIESGOS SOCIOAMBIENTALES

En línea con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Acuerdo de París, este proceso debe estar sustentado por financiamiento climático, transición energética justa, transferencia de tecnología y cooperación técnica internacional, especialmente por parte de los países con mayor responsabilidad histórica en las emisiones de gases de efecto invernadero, en conformidad con el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas.

OPERACIONALIZAR EL FONDO “TROPICAL FORESTS FOREVER FUND (TFFF)”

Como instrumento de mitigación y adaptación, movilizándolo financiamiento internacional de largo plazo para la conservación de la Amazonía y el fortalecimiento de la resiliencia climática, en consonancia con el Acuerdo de París.

FORTALECER LA COORDINACIÓN REGIONAL

La OTCA, como organización de cooperación de los ocho países amazónicos, necesita avanzar en la creación de un Mecanismo Financiero y en la consolidación de datos regionales sobre clima y medio ambiente, fortaleciendo la cooperación amazónica para enfrentar, de forma conjunta, los desafíos de mitigación y adaptación de la región.

Trayectorias amazónicas y Circulación Meridional del Atlántico (AMOC)

El calentamiento global simultáneamente debilita la Circulación Meridional del Atlántico (AMOC) y reduce las lluvias en la Amazonía, colocando ambos sistemas en riesgo de transición abrupta; sin embargo, un colapso de la AMOC puede, paradójicamente, atenuar la pérdida de precipitación en la región, ofreciendo un posible efecto estabilizador sobre la selva, aunque con serias implicaciones para el clima global^{15,16}. No obstante, el debilitamiento de la AMOC también podría intensificar la aridez en el extremo norte de la Amazonía (Fig. 5), influyendo significativamente sobre el régimen de lluvias y eventos extremos, pudiendo superar los impactos directos del calentamiento global, tendiendo a agravar la sequía al norte de la región¹⁷. Estos efectos, ya complejos, pueden verse aún más agravados por la presión antrópica sobre los ecosistemas, incluyendo la deforestación

y el aumento de la incidencia de incendios, ampliando los riesgos para la resiliencia socioambiental de la región¹⁸.

Este patrón de redistribución de la humedad atmosférica expone a la selva amazónica a un riesgo creciente de aridificación, con implicaciones ecológicas, hidrológicas y socioeconómicas críticas.

Si la AMOC entra en declive abrupto, los impactos serán globales, con cambios drásticos en las lluvias tropicales¹⁹. En la Amazonía, esto significaría más desequilibrios hídricos y riesgo creciente de aridificación, comprometiendo la biodiversidad, los ríos voladores y la seguridad socioambiental de la región.

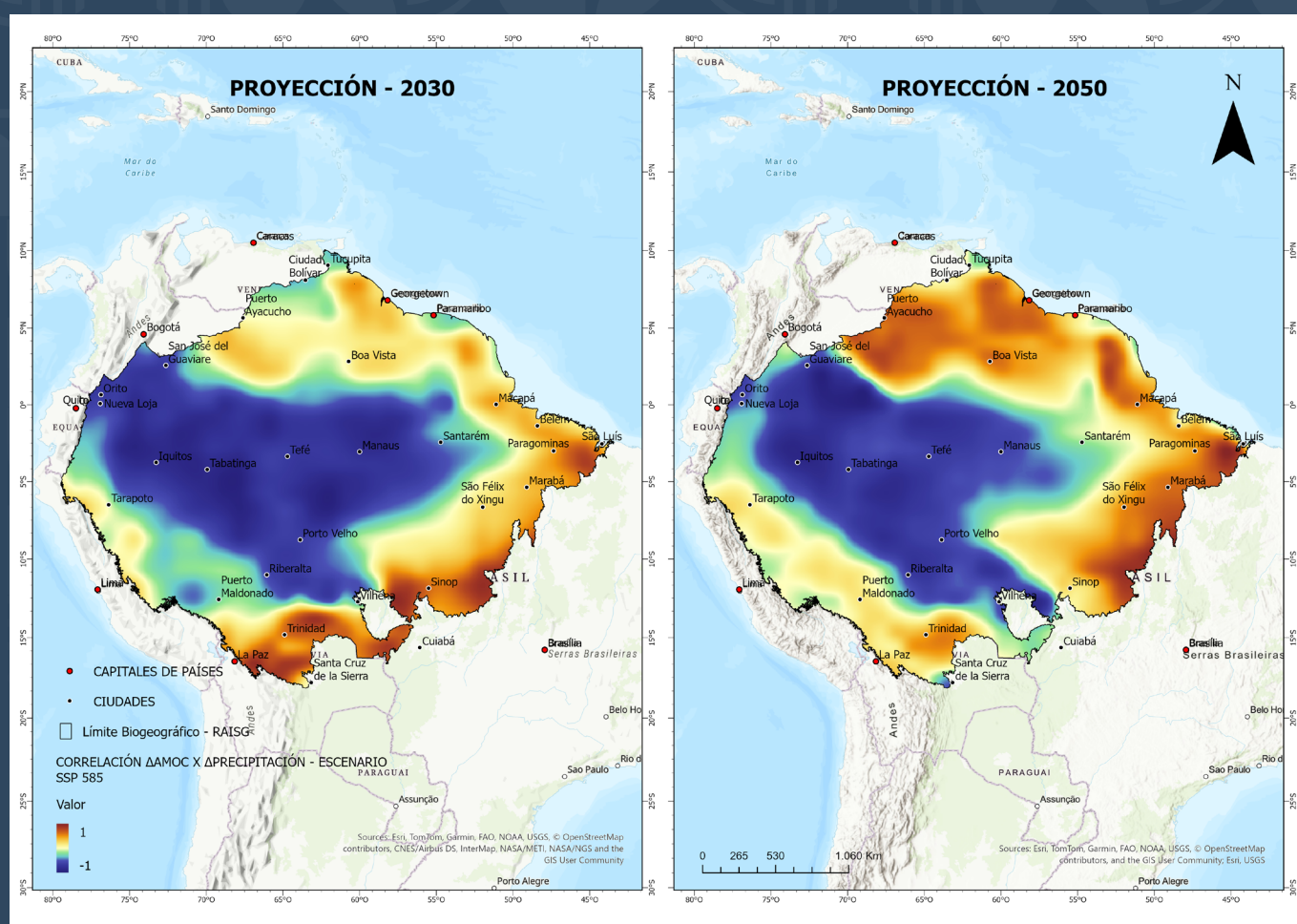


Figura 5. Mapa de correlación de los modelos climáticos CMIP6: Entre los cambios en el AMOC transporte acumulado (Sv) (de 20° Norte a 20° Sur) y la variación de la precipitación (mm/año) en la Amazonia proyectada para 2030 y 2050, con referencia al período 1970-2000 en el escenario SSP-585. Fuente: Autor.

Glosario

ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL

La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) es una franja cercana al Ecuador donde masas de aire húmedo se encuentran y ascienden, formando nubes densas y lluvias intensas, desempeñando un papel central en la distribución de la precipitación en las regiones tropicales, como la Amazonía.

MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES

Los modelos climáticos globales del Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6)²⁰ aquí utilizados fueron: GFDL-ESM4, MPI-ESM1-2-LR, MIROC6, NorESM2-LM y UKESM1-o-LL. Metadatos: <https://ora-otca.opendata.arcgis.com>

TRAYECTORIAS

SOCIOECONÓMICAS COMPARTIDAS (SSPS)

Las trayectorias SSPs se combinan con diferentes niveles de forzamiento radiativo (medido en W/m² hasta 2100), que combinan proyecciones de emisiones con diferentes escenarios de desarrollo, resultando en escenarios como el SSP-126, SSP-245 y el SSP-585, este último ampliamente utilizado como escenario de referencia para evaluación de riesgos climáticos extremos, por representar un futuro de altas emisiones y dependencia prolongada de combustibles fósiles.

SUGERENCIA DE CITACIÓN

Vilela, I. (2025). Conexión Climática Global. *Atmósfera, Océano y Amazonía. Trayectorias Amazónicas* n.º 2. [Policy Brief]. Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA). Disponible en <https://www.oraotca.org>

Referencias

- Levitus et al. (2012). World ocean heat content and thermocline sea level change (0–2000 m), 1955–2010. *Geophysical Research Letters*, 39(10).
- Terhaar et al. (2025). Record sea surface temperature jump in 2023–2024 unlikely but not unexpected. *Nature*.
- Cintra et al. (2021). Tree-ring oxygen isotopes record a decrease in Amazon dry season rainfall over the past 40 years. *Climate Dynamics*, 59(5–6), 1401–1414.
- Bellomo et al. (2021). Future climate change shaped by inter-model differences in Atlantic meridional overturning circulation response. *Nature Communications*, 12(1).
- Feldpausch et al. (2012). Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeosciences*, 9(8), 3381–3403.
- Espinoza et al. (2024). The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023 related to regional and global climatic features. *Scientific Reports*, 14(1).
- Papastefanou et al. (2022). Recent extreme drought events in the Amazon rainforest: assessment of different precipitation and evapotranspiration datasets and drought indicators. *Biogeosciences*, 19(16), 3843–3861.
- Zou et al. (2015). Do the recent severe droughts in the Amazonia have the same period of length? *Climate Dynamics*, 46(9–10), 3279–3285.
- State of the global climate 2024. World Meteorological Organization. <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2024>
- Climate Change 2021: The Physical Science Basis. (n.d.-b). IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Costa et al. (2024). Droughts in the Amazon [Policy Brief]. New York: Science Panel for the Amazon.
- Flores et al. (2024). Critical transitions in the Amazon forest system. *Nature* 626, 555–564.
- McKay et al. (2022). Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science*, 377(6611).
- Smith et al. (2023). Tropical deforestation causes large reductions in observed precipitation. *Nature*, 615(7951), 270–275.
- Nian et al. (2023). A potential collapse of the Atlantic Meridional Overturning Circulation may stabilise eastern Amazonian rainforests. *Communications Earth & Environment*, 4(1).
- Ciemer et al. (2021). Impact of an AMOC weakening on the stability of the southern Amazon rainforest. *The European Physical Journal Special Topics*, 230(14–15), 3065–3073.
- Vilela et al. (accepted, 2025). AMOC weakening modulates global warming impacts on precipitation over Brazil. *npj Climate and Atmospheric Science*.
- Akabane et al. (2024). Weaker Atlantic overturning circulation increases the vulnerability of northern Amazon forests. *Nature Geoscience*, 17(12), 1284–1290.
- Liu et al. (2020). Climate impacts of a weakened Atlantic Meridional Overturning Circulation in a warming climate. *Science Advances*, 6(26).
- Eyring et al. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937–1958.

ISABELLE VILELA
isabelle.vilela@otca.org

Oceanógrafa con maestría y doctorado por la Universidad Federal de Pernambuco, con estancias en Humboldt State University (EE. UU.) y el Bjerknes Centre for Climate Research (Noruega). Investiga las interacciones océano-atmósfera y el cambio climático.

COORDINACIÓN CIENTÍFICA ORA
Arnaldo Carneiro
arnaldo.carneiro@otca.org

COORDINACIÓN EDITORIAL ORA
Paula Drummond

PRODUCCIÓN CARTOGRAFÍA Y
MODELAJO ORA
Isabelle Vilela, Maycon Castro,
Maria Fernanda Ribeiro,
Mathias Alvarez e Rafaela
Cipriano

DISEÑO, MAQUETACIÓN E
ILUSTRACIONES
Patricia Sardá | Estúdio Abanico
FOTOGRAFÍA DE PORTADA
NOAA/ESDIS/STAR

AVISO DE RESPONSABILIDAD

Este documento constituye una compilación técnico-informativa sobre un tema prioritario para la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA), elaborada con el propósito de subsidiar y enriquecer el debate regional. Las opiniones, análisis e interpretaciones aquí presentadas corresponden exclusivamente a sus autores. Su contenido no refleja necesariamente la posición oficial de la OTCA ni de sus Países Miembros. La información presentada ha pasado por curaduría técnica que respalda su credibilidad.

OBSERVATORIO REGIONAL AMAZÓNICO (ORA)

Es el centro de referencia de la OTCA que integra datos, prueba innovaciones y difunde información apoyando a los países miembros en la cooperación y la toma de decisiones.

ORGANIZACIÓN DEL TRATADO DE COOPERACIÓN AMAZÓNICA (OTCA)

La OTCA es una organización intergubernamental formada por ocho países amazónicos: Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela, que firmaron el Tratado de Cooperación Amazónica, convirtiéndose en el único bloque socioambiental de América Latina.

OTCA / ORA

SEPN 510, Bloco A, 3º andar – Asa Norte | Brasília (DF), Brasil, CEP: 70.750-52
ora@otca.org | <https://www.oraotca.org/>

©OTCA 2025 - Secretaría Permanente de la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (SP/OTCA)

