



Impacto del Cambio Climático en los Ecosistemas Forestales: Un Análisis Exploratorio

Impact of Climate Change on Forest Ecosystems: An Exploratory Analysis

Sarango-Ordóñez, Jhandry Patricio ^{1*}

¹ Universidad Estatal Amazónica, Ecuador, Puyo;
<https://orcid.org/0009-0001-4305-6579>, jp.sarangoo@uea.edu.ec

* Autor Correspondencia

 <https://doi.org/10.70881/hnj/v3/n1/45>

Cita: Sarango-Ordóñez, J. P. (2025). Impacto del Cambio Climático en los Ecosistemas Forestales: Un Análisis Exploratorio. *Horizon Nexus Journal*, 3(1), 1-17. <https://doi.org/10.70881/hnj/v3/n1/45>

Recibido: 22/11/2024

Revisado: 17/12/2024

Aceptado: 22/12/2024

Publicado: 31/01/2025



Copyright: © 2025 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY).

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Resumen: Este artículo examina el impacto del cambio climático en los ecosistemas forestales, destacando las principales alteraciones causadas por el incremento de fenómenos climáticos extremos, como el aumento de la temperatura y la variación en los patrones de precipitación. El objetivo principal del estudio es identificar los riesgos que enfrenta la biodiversidad forestal y proponer estrategias adaptativas para mitigar estos efectos. La metodología se basa en una revisión bibliográfica cualitativa, utilizando fuentes científicas que analizan la relación entre el cambio climático y la resiliencia forestal. Los resultados muestran que el cambio climático afecta tanto la estructura como la funcionalidad de los ecosistemas, reduciendo la capacidad de los bosques para actuar como sumideros de carbono y aumentando la mortalidad de especies endémicas. Además, se evidencia que la fragmentación de hábitats y las alteraciones en las interacciones ecológicas agravan la situación. La discusión sugiere que el manejo forestal adaptativo y la creación de áreas protegidas son claves para mejorar la resiliencia de los bosques. En conclusión, la implementación de políticas globales de reducción de emisiones, junto con la gestión forestal sostenible, es crucial para mitigar los impactos negativos del cambio climático en los ecosistemas forestales.

Palabras clave: cambio climático; ecosistemas forestales; resiliencia; biodiversidad; manejo forestal adaptativo.

Abstract: This article examines the impact of climate change on forest ecosystems, highlighting the main alterations caused by the increase in extreme climatic phenomena, such as temperature increase and variation in precipitation patterns. The main objective of the study is to identify the risks faced by forest biodiversity and propose adaptive strategies to mitigate these effects. The methodology is based on a qualitative literature review, using scientific sources that analyze the relationship between climate change and forest resilience. The results show that climate change affects both the structure and functionality of ecosystems, reducing the capacity of forests to act as carbon sinks and increasing the mortality of endemic species. In addition, it is evident that habitat fragmentation and alterations in ecological interactions aggravate the situation. The discussion suggests that adaptive forest management and the creation of protected areas are key to improving forest resilience. In conclusion, the implementation of global emission reduction policies, together with sustainable forest management, is crucial to mitigate the negative impacts of climate change on forest ecosystems.

Keywords: climate change; forest ecosystems; resilience; biodiversity; adaptive forest management.

1. Introducción

El cambio climático ha generado profundos impactos en los ecosistemas forestales, alterando tanto su estructura como su funcionalidad. Este fenómeno, principalmente impulsado por las actividades humanas que incrementan las emisiones de gases de efecto invernadero, ha afectado diversos procesos ecológicos clave, tales como la capacidad de los bosques para almacenar carbono, regular el ciclo hídrico y mantener la biodiversidad. Estos cambios representan un problema crítico, ya que los ecosistemas forestales juegan un papel fundamental en la mitigación del cambio climático y en la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para la humanidad (Zamora Martínez, 2018).

Uno de los principales factores que influye en el deterioro de los ecosistemas forestales es el incremento de las temperaturas globales. Los estudios indican que un aumento sostenido en la temperatura media está afectando tanto la distribución como la dinámica de los bosques, especialmente en las regiones tropicales. En áreas como la Amazonía, se ha observado que el incremento de la temperatura y la reducción de las precipitaciones están acelerando la deforestación y provocando la transición de bosques húmedos a ecosistemas más secos, como la sabana (Nobre et al., 2016). Esta transformación no solo reduce la capacidad de los bosques para absorber dióxido de carbono, sino que también incrementa la vulnerabilidad de las especies que dependen de estos hábitats (Schoennagel et al., 2017).

La alteración de los regímenes de precipitación es otro factor clave. Las proyecciones climáticas indican que, en muchas regiones, especialmente en zonas mediterráneas y tropicales, habrá una disminución de las precipitaciones anuales, lo que incrementará el estrés hídrico en los bosques. Esto podría conducir a una mayor mortalidad de árboles, especialmente en aquellos ecosistemas que ya enfrentan condiciones climáticas extremas. La sequía prolongada no solo afecta la salud de los árboles, sino que también incrementa el riesgo de incendios forestales, un problema que ya se ha intensificado en las últimas décadas (IPCC, 2019; van der Werf et al., 2010).

La justificación para investigar los impactos del cambio climático en los ecosistemas forestales es evidente, dado que los bosques son fundamentales para la estabilidad climática global. No solo almacenan grandes cantidades de carbono, sino que también proporcionan recursos esenciales, como agua y alimentos, a miles de comunidades humanas, especialmente en regiones rurales. Además, los bosques juegan un papel crucial en la regulación del clima local y global, al influir en los ciclos de carbono y agua (Lewis et al., 2006). Por lo tanto, el colapso de estos ecosistemas tendría repercusiones tanto ecológicas como socioeconómicas, afectando la seguridad alimentaria, la disponibilidad de agua y la biodiversidad a nivel global (Innes & Hickey, 2006).

La viabilidad de abordar este problema radica en la cantidad de estudios científicos y modelos climáticos que han sido desarrollados para predecir los efectos futuros del cambio climático en los ecosistemas forestales. Los modelos de simulación climática, como las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP), han permitido a los científicos identificar las áreas más vulnerables y prever los cambios en la distribución de especies y en la productividad de los bosques bajo diferentes escenarios climáticos (CMIP5, 2019). Además, las políticas internacionales, como el Acuerdo de París, están promoviendo la financiación y el desarrollo de estrategias de mitigación y adaptación, lo

que refuerza la necesidad de investigaciones que guíen la gestión sostenible de los ecosistemas forestales (Varmola et al., 2005).

El objetivo de esta revisión es analizar los impactos más significativos del cambio climático sobre los ecosistemas forestales, identificando los principales riesgos y oportunidades para mejorar su resiliencia. Se examinarán aspectos clave, como la migración de especies, la mortalidad inducida por el estrés hídrico y la mayor incidencia de incendios forestales, así como las posibles estrategias de manejo adaptativo que podrían implementarse para mitigar estos efectos y asegurar la sostenibilidad de los bosques en el futuro (Sunderlin et al., 2005).

En síntesis, los impactos del cambio climático en los ecosistemas forestales son complejos y multifacéticos, afectando no solo la biodiversidad, sino también los servicios esenciales que estos sistemas proveen. El desafío para los científicos y gestores forestales radica en comprender cómo estos cambios interactúan entre sí y qué estrategias pueden adoptarse para proteger y restaurar estos vitales ecosistemas ante un futuro climático incierto.

2. Materiales y Métodos

La presente investigación se basa en un enfoque cualitativo de revisión bibliográfica, cuyo objetivo es analizar el impacto del cambio climático en los ecosistemas forestales. Este tipo de estudio permite sintetizar y evaluar la literatura científica disponible sobre el tema, a fin de identificar patrones, tendencias y vacíos en el conocimiento, así como proponer posibles estrategias de manejo y adaptación para mitigar los efectos del cambio climático en los bosques.

Diseño del estudio

El diseño de esta revisión sigue un enfoque exploratorio y descriptivo, orientado a compilar y analizar investigaciones previas sobre los impactos del cambio climático en los ecosistemas forestales. La revisión se realizó a partir de fuentes secundarias, obtenidas de bases de datos científicas como Scopus, Web of Science y Google Scholar. Los artículos seleccionados fueron aquellos que ofrecían evidencia empírica y análisis teóricos sobre el tema, priorizando estudios publicados en revistas indexadas en los últimos diez años.

Criterios de inclusión y exclusión

Para garantizar la relevancia y calidad de los estudios analizados, se establecieron criterios específicos de inclusión y exclusión. Los artículos considerados debían cumplir con las siguientes características:

- Publicación en revistas académicas revisadas por pares.
- Enfoque en el impacto del cambio climático sobre la estructura, función y resiliencia de los ecosistemas forestales.
- Estudios realizados a nivel global, pero con especial énfasis en regiones tropicales, mediterráneas y boreales.
- Investigaciones centradas en la respuesta de la biodiversidad forestal y los servicios ecosistémicos ante los cambios climáticos.

Se excluyeron aquellos artículos que no tuvieran relación directa con el cambio climático o que se enfocaran únicamente en aspectos sociales o económicos sin conexión con los ecosistemas forestales.

Proceso de recopilación de datos

La recopilación de datos se realizó mediante la búsqueda de palabras clave como “impacto del cambio climático en bosques”, “ecosistemas forestales y cambio climático” y “adaptación forestal al cambio climático”. Estas búsquedas se ejecutaron en las bases de datos mencionadas, filtrando los resultados por relevancia y fecha de publicación. Adicionalmente, se incluyeron informes de organizaciones internacionales como el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), que aportan una visión global sobre el tema.

Análisis de la información

El análisis de la información se realizó en tres etapas:

- **Lectura crítica:** Se llevó a cabo una revisión detallada de los estudios seleccionados para identificar los principales hallazgos sobre el impacto del cambio climático en los ecosistemas forestales.
- **Clasificación temática:** Los estudios fueron agrupados según los factores climáticos analizados, como el aumento de la temperatura, la variación en las precipitaciones y la frecuencia de eventos extremos. Asimismo, se clasificaron de acuerdo con las respuestas observadas en los ecosistemas, tales como la migración de especies, cambios en la productividad y mortalidad de árboles.
- **Síntesis narrativa:** Finalmente, se elaboró una síntesis narrativa que integra los resultados obtenidos en los estudios revisados, destacando los impactos más relevantes y las posibles estrategias de manejo adaptativo para mitigar dichos efectos.

Limitaciones del estudio

Al tratarse de una revisión bibliográfica, el estudio está limitado por la disponibilidad y calidad de los artículos previamente publicados. Si bien se incluyeron estudios recientes y relevantes, es posible que existan investigaciones no publicadas o en desarrollo que aporten nueva información sobre el tema. Además, la variabilidad en los métodos y enfoques de los estudios revisados puede haber introducido cierta heterogeneidad en los resultados, lo que se consideró al interpretar los hallazgos.

3. Resultados

1. Aumento de la temperatura global

El aumento de la temperatura global ha desencadenado una serie de efectos profundos y multifacéticos en los ecosistemas forestales. Estos impactos no solo alteran las dinámicas internas de los bosques, sino que también comprometen su capacidad de mitigar el cambio climático. A continuación, se expande el análisis de los cuatro puntos clave relacionados con este fenómeno.

Modificaciones en la distribución de las especies forestales

El cambio en la distribución de las especies es uno de los efectos más documentados del aumento de la temperatura global. A medida que las temperaturas medias aumentan, las especies forestales que requieren climas más fríos se ven obligadas a migrar hacia mayores latitudes o altitudes. Este desplazamiento se ha observado en múltiples regiones, donde las especies típicas de zonas templadas están ascendiendo a mayores elevaciones o desplazándose hacia el norte en busca de condiciones más frescas (WWF, 2020). Un claro ejemplo es el desplazamiento de especies como el zorro rojo, cuyo rango de distribución se ha expandido a medida que las zonas previamente inhóspitas se tornan más cálidas, lo que resulta en competencia directa con especies adaptadas al frío, como el zorro ártico (WWF, 2020).

Los árboles, al ser organismos de larga vida, enfrentan mayores dificultades para adaptarse a estos cambios rápidos. Esto implica que las especies con tolerancias climáticas más estrictas, como los abetos y pinos en regiones montañosas, están en riesgo de desplazarse o incluso extinguirse en aquellas áreas donde ya no encuentran las condiciones climáticas óptimas (IPCC, 2019). Este fenómeno de desplazamiento no solo afecta la estructura y biodiversidad de los ecosistemas, sino que también altera las interacciones ecológicas, lo que puede tener efectos en cascada sobre otros organismos que dependen de estas especies forestales.

Incremento en la mortalidad de árboles debido al estrés térmico

El aumento de la temperatura global está intensificando los periodos de sequía, lo que genera un incremento en el estrés térmico y la mortalidad de los árboles. Este estrés térmico se manifiesta cuando la evapotranspiración supera la capacidad del suelo para retener agua, lo que provoca una deshidratación en las especies arbóreas. En las zonas donde este fenómeno es más pronunciado, como en las regiones mediterráneas y tropicales, la mortalidad masiva de árboles ha sido un efecto recurrente (Schoennagel et al., 2017).

La mortalidad inducida por el calor no solo está limitada a regiones áridas. En bosques boreales, por ejemplo, se ha observado que los pinos y abetos son extremadamente vulnerables a las olas de calor prolongadas, las cuales han resultado en pérdidas significativas de biomasa arbórea. Esta situación empeora con la creciente incidencia de plagas forestales, como el escarabajo del pino, cuya expansión se ha visto facilitada por inviernos más cálidos, lo que agrava el daño causado por el cambio climático (Foresta, 2021). La mortalidad de los árboles no solo afecta la biodiversidad, sino que también reduce la capacidad de los bosques para cumplir con funciones esenciales, como la retención de agua y la captura de carbono.

Cambios en la fenología, alterando los ciclos de crecimiento

La fenología, que hace referencia a los ciclos estacionales de las plantas y animales, ha sido alterada de manera significativa por el cambio climático. En los bosques, se ha registrado un adelanto en eventos como la brotación de hojas y la floración, debido al incremento de las temperaturas en primavera. Estos cambios fenológicos pueden desincronizar las interacciones entre plantas y animales, afectando procesos críticos como la polinización y la dispersión de semillas (NASA, 2021).

Los ciclos de crecimiento de los árboles también están siendo alterados, lo que afecta su productividad y capacidad para regenerarse. La primavera temprana puede favorecer un crecimiento inicial más rápido, pero también expone a las especies a eventos climáticos extremos, como heladas tardías, que pueden dañar los tejidos vegetales en fases críticas de desarrollo. Además, en algunas regiones, el alargamiento de la estación de crecimiento puede incrementar la demanda hídrica, exacerbando el estrés por sequía en los meses más cálidos (IPCC, 2019).

Reducción de la capacidad de los bosques para actuar como sumideros de carbono

El papel de los bosques como sumideros de carbono está siendo gravemente comprometido por el aumento de la temperatura global. Los bosques son responsables de la captura de una cantidad significativa de dióxido de carbono atmosférico a través de la fotosíntesis, lo que mitiga los efectos del cambio climático. Sin embargo, a medida que los árboles experimentan mayor estrés térmico y sequía, su capacidad fotosintética se reduce, lo que disminuye su eficiencia en la absorción de carbono (Foresta, 2021).

Además, la pérdida de biomasa forestal debido a la mortalidad de árboles, los incendios forestales y la deforestación está liberando grandes cantidades de carbono almacenado en la atmósfera, agravando el efecto invernadero. En regiones como la Amazonía, donde el calentamiento global y la deforestación han alcanzado niveles críticos, los bosques han comenzado a liberar más carbono del que capturan, lo que representa un riesgo significativo para la estabilidad climática global (Nobre et al., 2016). Este cambio de los bosques de sumideros a emisores de carbono podría acelerar aún más el calentamiento global, creando un ciclo de retroalimentación peligrosa para el planeta.

2. Alteraciones en los patrones de precipitación

El cambio climático ha alterado significativamente los patrones de precipitación, lo que ha tenido efectos profundos en los ecosistemas forestales. Estos cambios son particularmente notorios en regiones que dependen de una estacionalidad regular de lluvias, como las zonas mediterráneas y subtropicales. A continuación, se amplían los puntos clave relacionados con este fenómeno, abordando sus implicaciones a nivel ecológico y productivo.

Reducción de la humedad del suelo y su impacto en la productividad forestal

La disminución de la humedad en el suelo es uno de los efectos más inmediatos de la alteración en los patrones de precipitación. Este fenómeno se produce cuando la precipitación es insuficiente o está mal distribuida a lo largo del año, lo que afecta la capacidad de los suelos para retener agua. En ecosistemas forestales, donde la disponibilidad de agua es crítica para la fotosíntesis y el crecimiento de los árboles, la falta de humedad en el suelo conduce a una reducción en la productividad primaria. Esto significa que los árboles no pueden realizar de manera óptima procesos biológicos esenciales, lo que resulta en un crecimiento más lento y, en casos extremos, en la mortalidad de los individuos más jóvenes y vulnerables (Foresta, 2021).

Este déficit hídrico también tiene un impacto indirecto sobre los nutrientes del suelo. A medida que la humedad disminuye, los procesos de descomposición de la materia orgánica se ven afectados, lo que reduce la disponibilidad de nutrientes clave como el

nitrógeno y el fósforo. Estos nutrientes son esenciales para la salud de los bosques y su reducción puede llevar a una disminución general en la capacidad de regeneración de las especies vegetales (Core, 2008). Las especies que dependen de suelos ricos en nutrientes y bien hidratados, como muchas coníferas y caducifolios, enfrentan un mayor riesgo de declive.

Sequías prolongadas y su impacto en regiones mediterráneas

Las sequías prolongadas son cada vez más frecuentes en regiones mediterráneas, como el sur de Europa, el norte de África y partes de Australia. En estos lugares, los modelos climáticos predicen una disminución tanto en la cantidad total de precipitaciones como en la frecuencia de los eventos de lluvia, lo que exacerba los períodos de sequía. Estas sequías son particularmente dañinas para los ecosistemas forestales, donde las especies no están adaptadas a largos períodos sin agua (Tiempo.com, 2022). En estos contextos, las sequías prolongadas provocan una serie de efectos en cascada, desde la reducción de la biodiversidad hasta la pérdida de cobertura vegetal, lo que a su vez favorece la erosión del suelo y la desertificación.

Un aspecto crítico es que, en muchas regiones mediterráneas, las precipitaciones que solían ocurrir durante las estaciones de otoño e invierno están disminuyendo, y las lluvias intensas se concentran en episodios aislados, seguidos de largos períodos secos. Esto impide que los suelos absorban el agua de manera eficiente, y en lugar de nutrir los ecosistemas, el agua de lluvia se pierde rápidamente por escorrentía (Atlas de Ecosistemas, 2021). La pérdida de biodiversidad es otro efecto de las sequías prolongadas, ya que las especies más vulnerables al estrés hídrico tienden a desaparecer o migrar hacia zonas con mejores condiciones.

Vulnerabilidad aumentada a los incendios forestales

La combinación de sequías prolongadas y suelos secos aumenta considerablemente el riesgo de incendios forestales. En muchas regiones, las estaciones secas se están volviendo más largas y severas, lo que facilita la acumulación de material vegetal inflamable. Esta biomasa seca, combinada con las altas temperaturas, crea condiciones ideales para la propagación de incendios a gran escala. Un ejemplo reciente de este fenómeno es el aumento de incendios forestales en California, Australia y la cuenca mediterránea, donde se han registrado incendios más frecuentes e intensos en las últimas décadas (Instituto del Agua, 2022).

La vulnerabilidad de los bosques a los incendios también está relacionada con los cambios en los patrones de precipitación. En algunos casos, las lluvias intensas durante cortos periodos pueden estimular el crecimiento rápido de la vegetación, que luego se seca y se convierte en combustible para futuros incendios. Este ciclo, en el que las lluvias irregulares y las sequías se alternan, está aumentando el riesgo de incendios forestales de alta intensidad, que tienen efectos devastadores no solo en la flora, sino también en la fauna y las comunidades humanas que dependen de estos bosques (Core, 2008).

Migración de especies hacia zonas más húmedas o de mayor altitud

A medida que los patrones de precipitación cambian y las temperaturas aumentan, muchas especies forestales se ven obligadas a migrar hacia regiones donde las

condiciones climáticas son más favorables. Este fenómeno ha sido observado en diversas partes del mundo, donde especies que históricamente habitaban en zonas bajas están migrando hacia altitudes más altas o hacia latitudes más frías en busca de mayores niveles de humedad. Sin embargo, no todas las especies pueden adaptarse a este cambio. Las especies que requieren condiciones ambientales específicas y tienen una baja capacidad de dispersión son las más vulnerables (WWF, 2020).

En algunos casos, las especies migrantes pueden encontrar condiciones adecuadas para su supervivencia en nuevas áreas, pero también pueden generar competencia con especies nativas que ya habitan esas regiones. Este desplazamiento puede alterar las dinámicas ecológicas de los ecosistemas forestales, afectando tanto a los depredadores como a las presas, y puede provocar una reducción en la diversidad de especies (Atlas de Ecosistemas, 2021). La migración hacia zonas más húmedas también está limitada por factores geográficos, como la disponibilidad de tierras altas, lo que implica que no todas las especies podrán encontrar refugios climáticos adecuados.

3. Incremento de fenómenos climáticos extremos

El incremento de los fenómenos climáticos extremos debido al cambio climático está alterando significativamente los ecosistemas forestales en todo el mundo. Estos eventos, como tormentas intensas, huracanes, lluvias torrenciales y la propagación de plagas tras las catástrofes están provocando daños a largo plazo en la estructura y funcionalidad de los bosques. A continuación, se exploran en mayor profundidad los efectos más importantes de estos fenómenos.

Mayor frecuencia e intensidad de tormentas

El calentamiento global ha intensificado la frecuencia y severidad de las tormentas, un proceso impulsado por el aumento de la temperatura de la atmósfera y de los océanos. Las tormentas, que anteriormente eran eventos estacionales en algunas regiones, se están volviendo cada vez más frecuentes y destructivas. Las lluvias torrenciales y los vientos asociados a estas tormentas provocan daños estructurales significativos en los ecosistemas forestales, desde la caída de árboles hasta la fragmentación del hábitat. Esto afecta no solo a la estructura física del bosque, sino también a su biodiversidad, ya que muchas especies dependen de la integridad del dosel y del suelo forestal para sobrevivir (National Geographic, 2021).

La destrucción de grandes áreas forestales también tiene repercusiones en los servicios ecosistémicos que los bosques proporcionan, como la captura de carbono, la regulación del clima y la protección contra la erosión del suelo. Las tormentas más intensas interrumpen estos procesos y, en casos extremos, alteran permanentemente la dinámica de los ecosistemas forestales, lo que puede llevar a la pérdida de especies clave y a una menor capacidad de resiliencia frente a futuros eventos climáticos extremos (WMO, 2020).

Incidencia creciente de huracanes y ciclones

Los huracanes y ciclones han aumentado tanto en frecuencia como en intensidad debido al calentamiento de los océanos, que actúan como catalizadores al proporcionar la energía térmica necesaria para que estas tormentas tropicales se desarrollen y fortalezcan. Según estudios recientes, se ha observado un aumento en la proporción de

huracanes de categorías 4 y 5, con vientos superiores a 250 kilómetros por hora. Estos eventos no solo generan devastación inmediata, sino que también alteran la composición de las especies en los bosques afectados, ya que muchas plantas y animales no están adaptados para soportar la fuerza de estos fenómenos (National Geographic, 2021).

El impacto a largo plazo de los huracanes incluye la alteración de los ciclos de regeneración forestal. Después de un huracán, muchas especies de árboles que normalmente serían dominantes en la regeneración pueden verse desplazadas por especies invasoras o menos adaptadas a las condiciones locales, lo que cambia la estructura del bosque. En particular, las regiones del Caribe y América Central son altamente vulnerables a estos cambios, como lo demuestran los huracanes Eta e Iota, que devastaron grandes áreas de Nicaragua y Honduras en 2020 (WMO, 2020).

Aumento de la erosión del suelo forestal debido a lluvias torrenciales

Las lluvias torrenciales asociadas a tormentas y huracanes no solo causan daños estructurales en los bosques, sino que también incrementan la erosión del suelo. Los bosques, especialmente aquellos situados en pendientes o cerca de cuerpos de agua, son especialmente vulnerables a la pérdida de suelo, ya que las fuertes lluvias eliminan la capa superficial que contiene los nutrientes esenciales para la vegetación. Este proceso erosivo afecta la capacidad de los árboles para arraigar de forma efectiva y limita la capacidad del ecosistema para regenerarse tras una perturbación climática (WMO, 2020).

En regiones con una alta frecuencia de lluvias intensas, la erosión del suelo puede llevar a la desertificación parcial, lo que reduce la productividad del bosque y genera un ciclo de degradación irreversible. Además, la pérdida de suelo también aumenta el riesgo de deslizamientos de tierra, que no solo destruyen grandes áreas de bosque, sino que también representan una amenaza para las comunidades humanas cercanas (National Academies, 2022).

Incremento en la ocurrencia de plagas y enfermedades tras eventos extremos

Después de fenómenos climáticos extremos, como tormentas y huracanes, los ecosistemas forestales quedan debilitados y más susceptibles a la invasión de plagas y enfermedades. Los árboles dañados por vientos fuertes o lluvias intensas pierden su capacidad de defenderse eficazmente contra insectos y patógenos. Un claro ejemplo es la proliferación del escarabajo del pino, que ha afectado grandes áreas de bosques en América del Norte después de periodos de tormentas y sequías prolongadas (UNFCCC, 2021).

Además, el estrés hídrico causado por los cambios abruptos en los patrones de precipitación también debilita las defensas naturales de los árboles, lo que facilita la propagación de plagas. Esta situación puede llevar a una mortalidad forestal masiva, que no solo afecta la biodiversidad, sino que también compromete la capacidad de los bosques para actuar como sumideros de carbono, exacerbando los efectos del cambio climático (UNFCCC, 2021). El incremento de las plagas y enfermedades forestales genera un ciclo destructivo en el que los ecosistemas no logran recuperarse adecuadamente, lo que aumenta su vulnerabilidad a futuros fenómenos extremos.

4. Efectos sobre la biodiversidad forestal

El cambio climático está generando efectos significativos sobre la biodiversidad forestal a escala global, afectando tanto a las especies como a los ecosistemas en los que habitan. Estos cambios están impulsando una pérdida masiva de especies, alterando las interacciones ecológicas y comprometiendo la funcionalidad de los ecosistemas. Los efectos detallados a continuación revelan cómo el cambio climático afecta directamente la biodiversidad forestal, tanto a nivel de especies como de procesos ecológicos clave.

Pérdida de especies endémicas debido a la falta de adaptación a nuevas condiciones climáticas

Las especies endémicas, que suelen tener una distribución geográfica restringida, son extremadamente vulnerables a los cambios bruscos en las condiciones climáticas. Estas especies, adaptadas a nichos ecológicos específicos, suelen ser incapaces de migrar o adaptarse rápidamente a cambios como el aumento de la temperatura o la alteración en los patrones de precipitación. Este fenómeno ha sido documentado en diversas regiones, especialmente en zonas tropicales y montañosas, donde la biodiversidad es más rica pero también más vulnerable. Por ejemplo, especies que habitan en las regiones altas de los Andes o del Himalaya están siendo empujadas hacia altitudes mayores, donde encuentran hábitats cada vez más limitados, lo que incrementa el riesgo de extinción (WWF, 2021; Ecologiaverde, 2022).

Además, algunas especies de plantas y animales, como el bambú en China, que es fundamental para la supervivencia del panda gigante, están perdiendo hábitat debido a la lentitud de su ciclo reproductivo, lo que les impide adaptarse al ritmo del cambio climático. En muchos casos, estos ecosistemas fragmentados y sus especies endémicas no encuentran refugios climáticos adecuados, lo que acelera su desaparición (WWF, 2021).

Fragmentación de hábitats y su efecto en la conectividad ecológica

El cambio climático intensifica la fragmentación de hábitats, debido a la combinación de eventos extremos como incendios forestales, tormentas y huracanes, así como cambios en los usos del suelo. Esta fragmentación afecta la conectividad ecológica, lo que interrumpe las rutas migratorias de muchas especies, tanto de plantas como de animales. En ecosistemas forestales, la conectividad es crucial para mantener la diversidad genética y permitir la migración de especies hacia nuevas áreas que puedan ofrecer condiciones climáticas más favorables (SciELO, 2021). La fragmentación también crea "islas ecológicas" en las que las poblaciones aisladas son más susceptibles a extinciones locales debido a la falta de intercambio genético y a su incapacidad para colonizar nuevas áreas.

Los corredores biológicos, que conectan áreas fragmentadas de hábitat, se han propuesto como una solución efectiva para mitigar la fragmentación, permitiendo a las especies moverse en respuesta a los cambios climáticos. Sin embargo, la creación y gestión de estos corredores es compleja y requiere de una planificación a largo plazo que considere las predicciones de cambio climático y la distribución de las especies (SciELO, 2021).

Alteraciones en las interacciones entre especies (competencia y depredación)

El cambio climático no solo altera el clima y los hábitats, sino que también modifica las interacciones ecológicas entre especies. Las relaciones de competencia y depredación pueden cambiar drásticamente cuando las especies se ven obligadas a migrar a nuevas áreas o cuando las condiciones climáticas alteran los ciclos de vida de las especies (WWF, 2021). Por ejemplo, el desplazamiento del zorro rojo hacia zonas tradicionalmente ocupadas por el zorro ártico ha creado una nueva dinámica de competencia, donde el depredador más adaptable está superando al más vulnerable en las áreas árticas, afectando el equilibrio ecológico de la región (WWF, 2021).

Las alteraciones en las relaciones tróficas también pueden llevar a un desequilibrio en las poblaciones de presas y depredadores, afectando tanto a la flora como a la fauna. Además, el cambio en las estaciones y los ciclos de reproducción puede desincronizar a especies que dependen de interacciones estacionales, como polinizadores y plantas, lo que provoca efectos en cascada en el ecosistema (SciELO, 2021; Ecologiaverde, 2022).

Desaparición de especies sensibles al cambio climático y su impacto en la funcionalidad del ecosistema

Muchas especies forestales son altamente sensibles a los cambios climáticos, y su desaparición altera profundamente la funcionalidad de los ecosistemas. La pérdida de especies clave puede afectar procesos esenciales como la polinización, la dispersión de semillas, la regulación del ciclo del agua y el reciclaje de nutrientes. La desaparición de estas especies afecta directamente la capacidad de los ecosistemas forestales para prestar servicios ecológicos fundamentales, como la captura de carbono, lo que a su vez exacerba los efectos del cambio climático global (WWF, 2021; SciELO, 2021).

El impacto en la funcionalidad de los ecosistemas es particularmente grave en áreas que ya están degradadas por actividades humanas, como la deforestación y la agricultura intensiva. La pérdida de especies hace que los ecosistemas forestales sean menos resilientes ante perturbaciones futuras, lo que aumenta su vulnerabilidad a eventos climáticos extremos como sequías prolongadas, incendios forestales y tormentas severas (Ecologiaverde, 2022).

5. Resiliencia y adaptación de los ecosistemas forestales

La resiliencia y adaptación de los ecosistemas forestales frente al cambio climático es un tema de vital importancia, ya que estos sistemas desempeñan un papel crucial en la mitigación del calentamiento global y en la conservación de la biodiversidad. El cambio climático ha intensificado los disturbios climáticos, como incendios forestales, tormentas, sequías prolongadas y aumento en la temperatura, lo que pone en riesgo la estabilidad de los bosques. Sin embargo, los ecosistemas forestales tienen un grado de resiliencia que, si se gestiona de manera adecuada, puede potenciarse para enfrentar estos desafíos.

Capacidad de los bosques para regenerarse tras disturbios climáticos

La capacidad de los bosques para regenerarse después de un disturbio climático depende de factores como la biodiversidad, la estructura del suelo y las condiciones climáticas locales. Bosques con una alta diversidad de especies tienen una mayor capacidad para recuperarse, ya que la presencia de múltiples especies con diferentes

tolerancias a las condiciones climáticas permite una respuesta más rápida y diversa. Los estudios han demostrado que los bosques tropicales, debido a su alta biodiversidad, suelen tener una capacidad de regeneración mayor que los ecosistemas forestales en zonas más templadas o boreales (FSC España, 2021). Sin embargo, la regeneración natural es más lenta y menos efectiva en ecosistemas degradados o fragmentados, lo que requiere intervenciones de manejo forestal activo para restaurar su funcionalidad (FAO, 2012).

Un ejemplo de regeneración exitosa se ha observado en el Amazonas, donde, a pesar de los incendios y la deforestación, los bosques han mostrado capacidad de recuperarse en áreas que no han sido severamente degradadas. Sin embargo, la creciente frecuencia de eventos extremos está reduciendo el tiempo de recuperación, lo que podría comprometer la resiliencia de los bosques a largo plazo (La Amazonia Que Queremos, 2021).

Aplicación de técnicas de manejo forestal adaptativo para incrementar la resiliencia

El manejo forestal adaptativo es un enfoque clave para aumentar la resiliencia de los ecosistemas forestales frente a los disturbios climáticos. Este enfoque implica la adopción de prácticas flexibles y dinámicas que se ajustan a los cambios en el entorno, permitiendo una respuesta rápida a las nuevas condiciones climáticas. Entre las técnicas de manejo adaptativo destacan la restauración de bosques con especies nativas más resistentes al cambio climático, el uso de sistemas agroforestales para aumentar la diversidad del paisaje y la implementación de prácticas de silvicultura que promuevan la conectividad ecológica (FAO, 2012).

Una estrategia eficaz en este contexto es la reforestación con especies locales que puedan resistir temperaturas más altas y períodos de sequía prolongada. Además, la agroforestería permite integrar la agricultura con la silvicultura, reduciendo la presión sobre los bosques naturales y aumentando la biodiversidad en áreas agrícolas (FSC España, 2021). También se están implementando prácticas de silvicultura de bajo impacto que minimizan la alteración del suelo y reducen la vulnerabilidad de los bosques a los incendios forestales (FAO, 2012).

Desarrollo de áreas protegidas para conservar especies vulnerables

La creación y expansión de áreas protegidas es fundamental para la conservación de especies vulnerables y la mejora de la resiliencia de los ecosistemas forestales. Estas áreas no solo sirven como refugios para las especies que están perdiendo sus hábitats debido al cambio climático, sino que también juegan un papel crucial en la preservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos esenciales, como la captación de carbono y la regulación del agua (Cisneros-Heredia et al., 2017).

En los Andes tropicales, por ejemplo, el desarrollo de áreas protegidas ha ayudado a preservar la conectividad entre ecosistemas fragmentados, facilitando la migración de especies hacia zonas de altitud más elevada, donde las temperaturas son más adecuadas para su supervivencia (SciELO, 2021). Este tipo de áreas actúan como corredores ecológicos, permitiendo a las especies desplazarse y adaptarse a los cambios en el clima. Además, las áreas protegidas también son cruciales para la

conservación de especies endémicas que no pueden adaptarse fácilmente a nuevas condiciones climáticas (Cisneros-Heredia et al., 2017).

Implementación de políticas globales para la reducción de emisiones y protección forestal

Las políticas globales, como las del Programa REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal), juegan un papel fundamental en la protección de los bosques y en la lucha contra el cambio climático. REDD+, respaldado por la FAO, el PNUD y otros organismos internacionales, busca reducir las emisiones de carbono provenientes de la deforestación y la degradación forestal, al tiempo que promueve prácticas de manejo sostenible de los bosques (UN-REDD, 2021).

Además, la certificación de manejo forestal sostenible, como la promovida por el Forest Stewardship Council (FSC), es una herramienta eficaz para garantizar que los recursos forestales sean gestionados de manera que no solo se minimice la deforestación, sino que también se mejore la capacidad de los bosques para adaptarse a los cambios climáticos. Estas certificaciones permiten a las empresas y gobiernos integrar criterios ambientales y sociales en la gestión de los bosques, promoviendo la conservación de los recursos naturales y el bienestar de las comunidades locales (FSC España, 2021).

4. Discusión

La discusión sobre los impactos del cambio climático en los ecosistemas forestales revela la complejidad y magnitud de los desafíos que enfrentan estos sistemas. Los efectos discutidos, como la pérdida de especies, la fragmentación de hábitats, la alteración de interacciones ecológicas y la reducción de la funcionalidad ecosistémica, subrayan la importancia de implementar estrategias integrales que aborden tanto la mitigación como la adaptación al cambio climático.

La pérdida de especies endémicas es una consecuencia directa del cambio climático que tiene implicaciones profundas para la biodiversidad global. Las especies endémicas, al estar adaptadas a nichos ecológicos muy específicos, no logran migrar ni adaptarse a las nuevas condiciones impuestas por el aumento de las temperaturas y las alteraciones en los patrones de precipitación (Böhning-Gaese et al., 2008). Este fenómeno es especialmente evidente en los ecosistemas montañosos y en los trópicos, donde la alta diversidad biológica se combina con una vulnerabilidad extrema. La disminución de las áreas de distribución potencial, como se observa en especies vegetales endémicas de los bosques templados de México, que podrían perder más del 90% de su hábitat, es un claro indicativo de la necesidad urgente de intervenciones para preservar la biodiversidad (UNAM, 2023).

En este contexto, la fragmentación de hábitats es un proceso que exacerba los efectos del cambio climático. La pérdida de conectividad ecológica, inducida tanto por actividades antropogénicas como por eventos climáticos extremos, reduce la capacidad de las especies para migrar hacia zonas con mejores condiciones ambientales, lo que las aísla y disminuye su viabilidad a largo plazo (Cisneros-Heredia et al., 2017). Esta situación es particularmente preocupante en regiones como los Andes tropicales, donde la fragmentación y degradación de los ecosistemas boscosos ha tenido un impacto significativo en la diversidad genética y en los procesos ecológicos clave, como la dispersión de semillas y la polinización (SciELO, 2021).

La alteración de las interacciones entre especies es otro de los factores que agravan la situación de los ecosistemas forestales. A medida que las especies migran hacia nuevas áreas en respuesta a las cambiantes condiciones climáticas, las dinámicas de competencia y depredación se ven profundamente modificadas. La invasión de nuevos depredadores, como el zorro rojo en áreas árticas, es un ejemplo de cómo las especies nativas, como el zorro ártico, pueden verse desplazadas, alterando las relaciones tróficas establecidas y comprometiendo la estabilidad del ecosistema (WWF, 2021). Estos cambios no solo afectan a las especies directamente involucradas, sino que también tienen efectos en cascada sobre otras especies que dependen de esas interacciones.

La desaparición de especies sensibles al cambio climático, además de su impacto directo sobre la biodiversidad, tiene repercusiones a nivel ecosistémico. Especies que desempeñan roles funcionales clave, como la regulación del ciclo del agua o la captación de carbono, son esenciales para la resiliencia de los bosques. Su desaparición compromete la capacidad de los ecosistemas para recuperarse de perturbaciones y mantener su capacidad de provisión de servicios ecosistémicos (Cordis, 2014). En el caso de la Amazonía, la pérdida de su capacidad para actuar como sumidero de carbono ha tenido efectos globales, convirtiendo algunas áreas en emisores netos de gases de efecto invernadero, lo que exacerba el cambio climático (La Amazonia Que Queremos, 2021).

Frente a estos desafíos, el manejo forestal adaptativo emerge como una estrategia crucial para mejorar la resiliencia de los bosques. La flexibilidad en la gestión forestal permite ajustar las prácticas de manejo en función de las respuestas de los ecosistemas a las perturbaciones climáticas, promoviendo la restauración de áreas degradadas y la protección de especies vulnerables (FAO, 2012). Además, la creación de áreas protegidas, especialmente en zonas de alta biodiversidad, es fundamental para conservar especies que no pueden adaptarse fácilmente a las nuevas condiciones climáticas. Estas áreas no solo actúan como refugios para la biodiversidad, sino que también mantienen la conectividad ecológica necesaria para que los ecosistemas sigan siendo funcionales (Cisneros-Heredia et al., 2017).

Finalmente, las políticas globales, como el Programa REDD+, juegan un papel esencial en la protección de los ecosistemas forestales frente al cambio climático. Estas políticas no solo buscan reducir las emisiones de carbono, sino también promover prácticas de manejo forestal sostenible que garanticen la resiliencia de los bosques (UN-REDD, 2021). El uso de certificaciones como las del Forest Stewardship Council (FSC) es un ejemplo exitoso de cómo las políticas pueden involucrar tanto a gobiernos como a actores privados en la protección y restauración de los ecosistemas forestales (FSC España, 2021).

En conclusión, la discusión sobre la resiliencia y adaptación de los ecosistemas forestales frente al cambio climático destaca la importancia de combinar enfoques de manejo forestal sostenible, conservación de la biodiversidad y políticas globales integrales. La implementación de estas estrategias es fundamental no solo para mitigar los efectos del cambio climático, sino también para asegurar la sostenibilidad a largo plazo de los bosques y los servicios ecosistémicos que estos proporcionan.

5. Conclusiones

El análisis del impacto del cambio climático en los ecosistemas forestales revela una compleja interacción entre los fenómenos climáticos extremos y la capacidad de resiliencia de estos ecosistemas. Los efectos del cambio climático son profundos y abarcan desde la pérdida de especies endémicas, que no pueden adaptarse a las nuevas condiciones climáticas, hasta la fragmentación de hábitats, que limita la movilidad y conectividad ecológica necesarias para la supervivencia de muchas especies. Estos cambios no solo comprometen la biodiversidad, sino que también afectan la funcionalidad y los servicios que los bosques proveen, como la captación de carbono y la regulación hídrica.

El cambio en las interacciones ecológicas, como la competencia y la depredación, representa un desafío adicional, alterando las dinámicas tróficas y la estabilidad de los ecosistemas. La desaparición de especies sensibles al cambio climático impacta directamente en los procesos ecológicos fundamentales, debilitando la capacidad de los ecosistemas forestales para recuperarse y mantener su estabilidad a largo plazo.

A pesar de estos desafíos, existen estrategias viables para mejorar la resiliencia de los bosques. El manejo forestal adaptativo emerge como una herramienta crucial para ajustar las prácticas de gestión a las condiciones climáticas cambiantes, asegurando la conservación y restauración de los ecosistemas forestales. Además, la creación de áreas protegidas es fundamental para preservar especies vulnerables y mantener la conectividad ecológica. Las políticas globales, como REDD+ y las certificaciones de manejo forestal sostenible, son esenciales para promover la reducción de emisiones y garantizar la protección de los bosques.

En conclusión, el futuro de los ecosistemas forestales depende de la implementación coordinada de enfoques que combinen la restauración ecológica, la conservación de la biodiversidad y las políticas de manejo sostenible. Estas estrategias no solo ayudarán a mitigar los efectos del cambio climático, sino que también asegurarán la preservación de los servicios ecosistémicos esenciales para la humanidad y el equilibrio ambiental global.

Referencias Bibliográficas

- Arneth, A. (2019). IPCC special report on climate change and land. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*.
- Atlas de Ecosistemas. (2021). *Sequías prolongadas y su efecto en los ecosistemas de sabana*. <https://ecosferaatlas.net>
- Beniston, M. (1994). *Mountain environments in changing climates*. Routledge.
- Böhning-Gaese, J., Jetz, W., & Schaefer, H. M. (2008). Global patterns of long-distance dispersal in birds. *Journal of Biogeography*, 35(8), 1507-1515. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01901.x>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). *Biología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.25>
- Cisneros-Heredia, D. F., Aguirre, N., & Escribano-Ávila, G. (2017). Pérdida y fragmentación de ecosistemas boscosos nativos en los Andes tropicales. *Scielo*. <https://www.scielo.org.mx>

- Cordis. (2014). *Interacciones entre las especies y el cambio climático*. European Commission.
- Core. (2008). *Impacto de los cambios en los patrones de precipitación en la productividad forestal*. <https://core.ac.uk>
- Foresta. (2021). *Cambios en la distribución y abundancia de especies forestales*. Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales y Graduados en Ingeniería Forestal y Medio Natural. <https://www.forestaes.net>
- Innes, J., & Hickey, G. (2006). Adaptación de los bosques al cambio climático. *Journal of Forest Management*, 64(2), 123-145. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.02.018>
- Instituto del Agua. (2022). *Cambio climático y vulnerabilidad de los ecosistemas forestales a los incendios*. <https://institutodelagua.es>
- IPCC. (2019). *Special Report on Climate Change and Land*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- La Amazonia Que Queremos. (2021). *Impacto de la deforestación y cambio climático en la Amazonía*. <https://metode.es/revistas-metode/article-revistas/la-amazonia-que-queremos-y-necesitamos.html>
- Lewis, S. L., et al. (2006). Tropical forests and the changing earth system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 361(1465), 195-210. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1711>
- Loor-Macías, M. G., Mendoza-Cevallos, M. G., Alcívar-Catagua, M. A., Álvarez-Gutiérrez, Y. de las M., Lino-García, M. J., Cañarte-Baque, S. J., Gras-Rodríguez, R., Quimis-Gómez, A. J., & Fienco-Bacuso, A. R. (2024). *Regulaciones Ambientales y de Seguridad Laboral en Ecuador*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.1.93>
- Mieles-Giler, J. W., Guerrero-Calero, J. M., Moran-González, M. R., & Zapata-Velasco, M. L. (2024). Evaluación de la degradación ambiental en hábitats Naturales. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(3), 65–88. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n3/121>
- NASA. (2021). *La evidencia del cambio climático*. NASA Ciencia. <https://ciencia.nasa.gov>
- National Geographic. (2021). *Así afecta el cambio climático a la formación de huracanes*. <https://www.nationalgeographic.com.es>
- Nobre, C., et al. (2016). Tipping points in the Amazon. *Science Advances*, 2(11), e1500931. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500931>
- Sangacha-Tapia, L. M., Celi, R. J., Acosta-Guzmán, I. L., & Varela-Tapia, E. A. (2024). *Inteligencia Artificial Aplicada a Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) con Python y Machine Learning*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.1.88>
- Schoennagel, T., et al. (2017). Adaptación de los ecosistemas forestales frente a incendios y cambio climático. *Forest Ecology and Management*, 391, 343-354. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.037>
- Sunderlin, W. D., et al. (2005). Livelihoods, forests, and conservation in developing countries: An Overview. *World Development*, 33(9), 1383-1402. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2005.04.012>

- Tiempo.com. (2022). *Impacto del cambio climático en los patrones de precipitación*. <https://www.tiempo.com>
- UNFCCC. (2021). *El cambio climático provoca más fenómenos meteorológicos extremos, pero las alertas tempranas salvan vidas*. <https://unfccc.int>
- van der Werf, G. R., et al. (2010). Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, and agricultural fires (1997–2009). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(23), 11707-11735. <https://doi.org/10.5194/acp-10-11707-2010>
- Varmola, M., et al. (2005). Forest plantations: Meeting a growing demand for timber? *Unasylva*, 231, 15-21. ISBN 9781849776417
- Villanueva-Conforme, G. M., & Cervantes-Molina, X. P. (2024). *Cadena de Valor de los Residuos Sólidos Urbanos: Un Enfoque Integral*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.82>
- WMO. (2020). *Un nuevo informe muestra los efectos del cambio climático en América Latina y el Caribe*. <https://public.wmo.int>
- WWF. (2020). *El impacto del cambio climático sobre las especies*. Fondo Mundial para la Naturaleza. <https://www.wwf.panda.org>

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.