



ISSN: 3151-8265  
DOI:



Periodicidad trimestral Enero-Marzo, Volumen 4, Numero 1, Años (2025), Pág. 16-30

Fecha de recepción: 2024-11-15

Fecha de aceptación: 2024-12-15

Fecha de publicación: 2025-01-15

## Fisiología térmica de ectotermos en escenarios de cambio climático global

**Jandry Junior Cruz Ventura**

[jandryc71@gmail.com](mailto:jandryc71@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-4303-9170>

**Universidad Nacional de Chimborazo**

Riobamba – Ecuador

### Resumen

El incremento sostenido de la temperatura global asociado al cambio climático ha generado alteraciones relevantes en la fisiología térmica de los organismos ectotermos, afectando su metabolismo, supervivencia y distribución ecológica, lo cual constituye una problemática crítica para la biodiversidad. El objetivo de esta investigación fue analizar las respuestas fisiológicas de los ectotermos frente a escenarios de cambio climático global, considerando sus procesos metabólicos, adaptativos y poblacionales en distintos ecosistemas. La metodología se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, diseño no experimental y análisis longitudinal retrospectivo, utilizando 185 registros científicos y reportes de organismos internacionales como IPCC, NASA, NOAA, IUCN, FAO, UNEP, MAATE e INAMHI, aplicando regresión multinivel, análisis de componentes principales y modelos de ecuaciones estructurales. Los resultados principales evidencian que los anfibios presentan la mayor vulnerabilidad fisiológica ( $\beta=0.81$ ), seguidos de reptiles, peces e invertebrados; además, el incremento térmico, la reducción de oxígeno disuelto y la pérdida de hábitat son los factores más influyentes en el deterioro fisiológico y poblacional. Asimismo, se identificó que la plasticidad fenotípica resulta insuficiente para compensar la rapidez del cambio climático, proyectándose reducciones poblacionales significativas hacia 2050, especialmente en regiones tropicales. En este contexto, se concluye que la fisiología térmica de los ectotermos constituye un indicador clave de vulnerabilidad ecológica frente al calentamiento global.

**Palabras clave:** fisiología térmica, ectotermos, cambio climático, vulnerabilidad fisiológica, metabolismo, biodiversidad, estrés térmico.

## Thermal Physiology of Ectotherms in Global Climate Change Scenarios

### Abstract

The sustained increase in global temperature associated with climate change has produced significant alterations in the thermal physiology of ectothermic organisms, affecting their metabolism, survival, and ecological distribution, representing a critical issue for global biodiversity. The objective of this study was to analyze the physiological responses of ectotherms under global climate change scenarios, considering their metabolic, adaptive, and population processes across different ecosystems. The methodology followed a quantitative, non-experimental design with a retrospective longitudinal approach, using 185 scientific records and technical reports from international organizations such as IPCC, NASA, NOAA, IUCN, FAO, UNEP, MAATE, and INAMHI, applying multilevel regression, principal component analysis, and structural equation models. The main results show that amphibians exhibit the highest physiological vulnerability ( $\beta=0.81$ ), followed by reptiles, fish, and invertebrates; additionally, thermal increase, dissolved oxygen reduction, and habitat loss were identified as the most influential factors driving physiological and population decline. Likewise, phenotypic plasticity was found insufficient to compensate for the rapid pace of climate change, with significant population reductions projected by 2050, particularly in tropical regions. In this context, it is concluded that ectotherm thermal physiology constitutes a key indicator of ecological vulnerability under global warming.

**Keywords:** thermal physiology, ectotherms, climate change, physiological vulnerability, metabolism, biodiversity, thermal stress.

### Introducción

El cambio climático global ha intensificado de forma acelerada las alteraciones en los regímenes térmicos planetarios, provocando incrementos sostenidos en la temperatura media, mayor frecuencia de eventos extremos y modificaciones en los patrones estacionales que afectan directamente la funcionalidad biológica de múltiples especies. En este contexto, los organismos ectotermos representan uno de los grupos más vulnerables debido a que su temperatura corporal depende de las condiciones térmicas externas, condicionando procesos esenciales como el metabolismo, crecimiento, reproducción, locomoción e inmunocompetencia. La literatura científica reciente ha señalado que la aceleración del calentamiento global está modificando los límites térmicos fisiológicos de reptiles, anfibios, peces e invertebrados, comprometiendo su capacidad de adaptación y persistencia ecológica (Muñoz-Nolasco et al., 2023).

Desde una perspectiva biofisiológica, la temperatura regula directamente la velocidad de reacciones metabólicas, la actividad enzimática y la eficiencia energética de los ectotermos. Incrementos térmicos por encima de los umbrales óptimos generan alteraciones cardiovasculares, estrés oxidativo y reducción del rendimiento locomotor. En ecosistemas acuáticos, este fenómeno se agrava debido a la disminución simultánea del oxígeno disuelto, afectando gravemente la capacidad aeróbica de peces tropicales y otras especies acuáticas. Estudios recientes evidencian que estas modificaciones reducen significativamente la

supervivencia y el éxito reproductivo en poblaciones expuestas a temperaturas extremas prolongadas (Heuer & Grosell, 2021).

En los anfibios, los efectos térmicos resultan particularmente complejos debido a la interacción entre temperatura, humedad ambiental y disponibilidad hídrica. El aumento de temperaturas, combinado con alteraciones en los patrones de precipitación, genera estrés fisiológico, cambios en la osmorregulación y reducción de hábitats adecuados. Investigaciones desarrolladas en ecosistemas latinoamericanos han demostrado desplazamientos altitudinales de especies anfibias como respuesta adaptativa frente al calentamiento acelerado, aunque estos procesos no siempre garantizan su supervivencia a largo plazo (Vidal et al., 2022).

En reptiles, la fisiología térmica se encuentra estrechamente vinculada con mecanismos conductuales de termorregulación como la selección de refugios, cambios en horarios de actividad y exposición solar controlada. Sin embargo, la intensificación de olas de calor ha comenzado a superar la capacidad compensatoria de dichos mecanismos, generando efectos negativos sobre crecimiento corporal, reproducción y supervivencia. Estudios recientes reportan que especies de lagartos tropicales presentan reducciones significativas en su tolerancia térmica bajo escenarios climáticos extremos (Camacho et al., 2023).

Asimismo, la capacidad de plasticidad fenotípica ha sido ampliamente analizada como una posible respuesta adaptativa frente al calentamiento global. Algunas especies ectotérmicas han mostrado ajustes fisiológicos relacionados con proteínas de choque térmico, modificaciones metabólicas y alteraciones conductuales temporales. No obstante, diversos autores sostienen que la velocidad actual del cambio climático supera la capacidad adaptativa de numerosas especies, particularmente aquellas con distribución restringida y baja diversidad genética (Fajardo et al., 2021).

Adicionalmente, investigaciones recientes han determinado que no solo el incremento promedio de temperatura representa una amenaza, sino también la variabilidad térmica diaria extrema. Cambios abruptos entre temperaturas diurnas y nocturnas afectan ritmos circadianos, eficiencia digestiva y balances energéticos en insectos, anfibios y reptiles. Este comportamiento ha sido documentado como uno de los factores emergentes más relevantes en la fisiología del cambio climático (Paaijmans et al., 2021).

En términos ecológicos, estas alteraciones fisiológicas trascienden el nivel individual y generan impactos sobre poblaciones, interacciones tróficas y estabilidad ecosistémica. Cambios en distribución geográfica, alteraciones reproductivas y disminución de biodiversidad evidencian la necesidad de profundizar en el estudio de los mecanismos fisiológicos que determinan la vulnerabilidad diferencial de los ectotermos.

En este marco, este artículo analiza la fisiología térmica de los ectotermos en escenarios de cambio climático global, evaluando las respuestas metabólicas, adaptativas y ecológicas derivadas del incremento térmico planetario, con el propósito de contribuir al fortalecimiento del conocimiento científico orientado a la conservación de especies altamente sensibles a las transformaciones climáticas globales.

## **Bases fisiológicas de la termorregulación en ectotermos**

En los desiertos del norte de México, diversas especies de lagartijas reducen su actividad al mediodía y se refugian temporalmente bajo rocas o vegetación xerófita para evitar temperaturas corporales letales durante periodos de radiación extrema. Este comportamiento permite comprender que la fisiología térmica de los ectotermos está determinada por una interacción compleja entre temperatura ambiental, metabolismo, conducta y capacidad adaptativa. Debido a que estos organismos dependen de fuentes externas de calor para regular su temperatura corporal, cualquier modificación climática sostenida altera procesos esenciales como respiración celular, actividad enzimática, digestión, locomoción, reproducción y respuesta inmunológica (Bennett et al., 2021).

Desde una perspectiva ecofisiológica, la tolerancia térmica se evalúa mediante indicadores como temperatura corporal preferida, mínimo térmico crítico y máximo térmico crítico, los cuales permiten identificar los límites funcionales dentro de los cuales una especie puede mantener estabilidad fisiológica. Cuando dichos límites son superados, se producen alteraciones metabólicas progresivas que pueden derivar en pérdida de coordinación motora, reducción del consumo energético eficiente y mortalidad. Camacho et al. (2023) sostienen que la duración de exposición al calor constituye una variable crítica para comprender el impacto fisiológico real del calentamiento global.

En ecosistemas acuáticos tropicales, peces de arrecife han mostrado disminuciones en su capacidad natatoria cuando las temperaturas oceánicas aumentan durante eventos prolongados de calentamiento superficial. Esta situación refleja cómo la temperatura elevada incrementa la demanda metabólica mientras reduce simultáneamente la disponibilidad de oxígeno disuelto. Fernandes et al. (2023) indican que esta doble presión fisiológica compromete el crecimiento, la reproducción y la supervivencia de múltiples especies acuáticas.

El tamaño corporal también influye en la respuesta térmica de los ectotermos. Organismos pequeños suelen absorber calor con mayor rapidez debido a su elevada relación superficie-volumen, mientras que organismos de mayor tamaño presentan patrones térmicos más lentos. Peralta-Maraver y Rezende (2021) demostraron que la tolerancia al calor varía significativamente según características morfológicas y ambientales específicas.

En ecosistemas montañosos, insectos expuestos a cambios abruptos entre temperaturas diurnas y nocturnas deben reajustar continuamente sus funciones metabólicas para mantener estabilidad fisiológica. Esta variabilidad térmica representa una presión adicional que puede resultar más perjudicial que un incremento térmico constante. Birrell et al. (2023) explican que la amplitud térmica ambiental condiciona directamente la resistencia fisiológica de numerosas especies.

En las islas Galápagos, algunas lagartijas modifican el uso de microhábitats dependiendo de la radiación solar y la temperatura superficial de las rocas volcánicas. Esta conducta demuestra que la disponibilidad de refugios térmicos puede amortiguar parcialmente el estrés

ambiental. Fierro-Estrada et al. (2022) evidencian que la calidad térmica del hábitat determina las horas funcionales de actividad de los reptiles.

La plasticidad fenotípica representa otra estrategia de respuesta frente al calentamiento global. Algunas especies modifican temporalmente procesos fisiológicos mediante proteínas de choque térmico, ajustes metabólicos y cambios conductuales. Pottier et al. (2021) advierten que dicha plasticidad posee límites biológicos frente a escenarios climáticos extremos. García-Robledo et al. (2022) señalan que muchas especies tropicales presentan márgenes reducidos de adaptación térmica. Gaitán-Espitia et al. (2023) agregan que la velocidad actual del cambio climático supera la capacidad de respuesta de múltiples ectotermos.

### **Respuestas ecológicas y vulnerabilidad climática de los ectotermos**

En los ecosistemas andinos de Sudamérica, varias especies de anfibios han desplazado progresivamente su distribución hacia zonas de mayor altitud debido al incremento sostenido de temperatura y la reducción de humedad en sus hábitats originales. Este fenómeno permite evidenciar que la vulnerabilidad climática de los ectotermos no responde exclusivamente al aumento térmico, sino también a transformaciones simultáneas del hábitat, disponibilidad hídrica y dinámica ecológica. Bodensteiner et al. (2021) explican que numerosos rasgos térmicos conservan limitaciones evolutivas importantes.

La distribución geográfica de los ectotermos se encuentra directamente relacionada con sus límites fisiológicos. Cuando las temperaturas ambientales superan sus umbrales tolerables, muchas especies intentan desplazarse hacia nuevas áreas climáticamente favorables. Herrando-Pérez et al. (2023) sostienen que aún existen importantes vacíos de información fisiológica global que dificultan proyectar con precisión estos desplazamientos.

En zonas áridas de América Latina, diversas especies de reptiles reducen sus periodos de alimentación debido a temperaturas extremas prolongadas, permaneciendo ocultas durante gran parte del día. Esta reducción de actividad genera efectos negativos sobre reproducción, crecimiento corporal y supervivencia. Domínguez-Guerrero et al. (2021) analizaron este comportamiento en reptiles de ecosistemas secos. Lara-Resendiz et al. (2021) identificaron patrones similares en especies adaptadas a ambientes desérticos. Ortega et al. (2022) concluyen que la termorregulación conductual presenta límites frente a escenarios térmicos extremos.

En humedales tropicales, múltiples especies de anfibios experimentan alteraciones reproductivas debido a cambios simultáneos en temperatura y disponibilidad de agua. Catenazzi (2021) señala que el cambio climático incrementa la vulnerabilidad de anfibios al interactuar con enfermedades emergentes y pérdida de hábitat.

En ecosistemas forestales tropicales, insectos y otros invertebrados presentan respuestas fisiológicas influenciadas por microorganismos asociados a sus sistemas digestivos. Fontaine y Kohl (2023) demostraron que el microbioma puede influir directamente en la tolerancia térmica de los ectotermos.

En ecosistemas marinos, moluscos, crustáceos y peces enfrentan simultáneamente calentamiento oceánico, acidificación y reducción de oxígeno disuelto. Morley et al. (2021) evidencian efectos fisiológicos severos derivados de estas condiciones. Madeira et al. (2022) identifican alteraciones metabólicas significativas en especies marinas expuestas a múltiples estresores ambientales. Verberk et al. (2023) señalan que el tamaño corporal también condiciona la tolerancia térmica en organismos acuáticos.

En regiones tropicales, numerosas especies viven cerca de sus límites térmicos máximos, lo que incrementa su probabilidad de colapso poblacional. Sinervo et al. (2023) sostienen que los nichos térmicos restringidos aumentan el riesgo de extinción frente al calentamiento global.

Desde una perspectiva de conservación, comprender la relación entre fisiología térmica y vulnerabilidad climática resulta esencial para diseñar estrategias orientadas a la protección de especies altamente sensibles. Buckley et al. (2021) argumentan que integrar variables fisiológicas y espaciales mejora significativamente la predicción del riesgo climático. Gunderson et al. (2022) indican que la plasticidad fisiológica debe incorporarse en modelos de conservación para anticipar escenarios futuros.

### **Materiales y métodos**

En primera instancia, esta investigación se estructuró bajo un enfoque cuantitativo de nivel explicativo con diseño no experimental y temporalidad longitudinal retrospectiva, orientado al análisis de las alteraciones térmicas globales y su incidencia sobre las respuestas fisiológicas de organismos ectotermos en distintos sistemas ecológicos terrestres y acuáticos. La unidad analítica estuvo conformada por registros científicos, series climáticas históricas y bases de datos ecológicas vinculadas con reptiles, anfibios, peces e invertebrados sometidos a escenarios de variabilidad climática entre los años 2000 y 2023.

De manera complementaria, el proceso de recopilación de información se desarrolló mediante una revisión sistemática de bases documentales oficiales y reportes técnicos emitidos por organismos estatales, instituciones científicas y entidades internacionales especializadas en cambio climático, biodiversidad y monitoreo ambiental. Entre las principales fuentes se incorporaron los informes del Intergovernmental Panel on Climate Change, registros climáticos de la National Aeronautics and Space Administration, bases oceanográficas de la National Oceanic and Atmospheric Administration, reportes de biodiversidad de la International Union for Conservation of Nature, estadísticas ambientales de la Food and Agriculture Organization, informes ecosistémicos del United Nations Environment Programme, así como registros técnicos generados por ministerios ambientales de América Latina. Para el contexto ecuatoriano se integraron reportes emitidos por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) y datos hidrometeorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Bajo criterios metodológicos más rigurosos, se aplicó una revisión documental sistemática fundamentada en el protocolo PRISMA, permitiendo identificar investigaciones e informes que incluyeran variables relacionadas con temperatura ambiental, temperatura corporal,



metabolismo energético, mortalidad, distribución geográfica, éxito reproductivo y niveles de estrés fisiológico en ectotermos. Fueron excluidos estudios duplicados, documentos sin trazabilidad metodológica y registros con información estadística incompleta. Como resultado de este proceso depurativo, la muestra definitiva quedó conformada por 185 documentos científicos y técnicos correspondientes a ecosistemas tropicales, templados, marinos, áridos y de montaña.

En términos operacionales, la variable independiente estuvo representada por los escenarios de cambio climático global, medidos mediante indicadores como incremento de temperatura media global, frecuencia de olas de calor, amplitud térmica diaria, acidificación oceánica y alteraciones en los regímenes de precipitación. Por otra parte, la variable dependiente correspondió a la fisiología térmica de los ectotermos, evaluada a través de indicadores como tolerancia térmica crítica, rendimiento metabólico, desplazamiento altitudinal, supervivencia y capacidad reproductiva.

Desde una perspectiva analítica avanzada, se aplicó un modelo de regresión multinivel de efectos mixtos, el cual permitió evaluar diferencias fisiológicas entre grupos taxonómicos y ecosistemas, considerando simultáneamente la estructura jerárquica de los datos, donde múltiples especies se encontraban agrupadas dentro de regiones geográficas específicas. Este procedimiento permitió estimar la influencia diferenciada de variables climáticas globales sobre distintos organismos ectotermos.

Paralelamente, se implementó un análisis de componentes principales (ACP) con el propósito de reducir la dimensionalidad de las variables climáticas y fisiológicas, identificando patrones estructurales de vulnerabilidad térmica entre especies. Este procedimiento facilitó la clasificación de organismos según similitudes en sus respuestas adaptativas frente a escenarios extremos de calentamiento.

Desde una lógica causal más compleja, se utilizó adicionalmente el modelo de ecuaciones estructurales (SEM) para examinar relaciones directas e indirectas entre incremento térmico, degradación del hábitat, estrés fisiológico y reducción poblacional. Esta técnica permitió establecer trayectorias explicativas sobre los efectos acumulativos del cambio climático en la estabilidad biológica de los ectotermos.

Finalmente, para fortalecer la consistencia estadística de los hallazgos, se ejecutaron pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk, análisis de multicolinealidad mediante el factor de inflación de varianza y procedimientos de validación cruzada a través de remuestreo bootstrap. El procesamiento cuantitativo y la modelación estadística fueron desarrollados mediante los programas R Studio, SPSS versión 29 y ArcGIS Pro para la representación espacial de desplazamientos geográficos y zonas de vulnerabilidad térmica.

## Resultados

En primer término, el análisis descriptivo de los 185 registros científicos y reportes técnicos provenientes del Intergovernmental Panel on Climate Change, National Aeronautics and Space Administration, National Oceanic and Atmospheric Administration, International

Union for Conservation of Nature, Food and Agriculture Organization, United Nations Environment Programme, Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica e Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología evidenció que entre 2000 y 2023 la temperatura media superficial global aumentó en aproximadamente 1.1 °C respecto a niveles preindustriales, mientras que las olas de calor extremas incrementaron su frecuencia en ecosistemas tropicales y áridos donde habita una elevada proporción de ectotermos altamente especializados. Los datos consolidados mostraron que el 68.4 % de las especies analizadas presentaron reducción en su rendimiento fisiológico cuando las temperaturas ambientales superaron su rango óptimo térmico, mientras que el 41.7 % registró alteraciones reproductivas significativas y el 33.5 % evidenció desplazamientos geográficos hacia zonas altitudinales superiores o latitudes más frías. Estos resultados coinciden con lo reportado por Herrando-Pérez et al. (2023), quienes sostienen que las limitaciones fisiológicas representan una variable crítica en la predicción de vulnerabilidad climática global de ectotermos.

Posteriormente, el análisis de regresión multinivel de efectos mixtos permitió identificar diferencias estadísticamente significativas entre grupos taxonómicos respecto a la sensibilidad térmica. Los anfibios presentaron el coeficiente más alto de vulnerabilidad fisiológica ( $\beta=0.81$ ;  $p<0.001$ ), seguidos por reptiles ( $\beta=0.74$ ;  $p<0.001$ ), peces ( $\beta=0.69$ ;  $p<0.01$ ) e invertebrados terrestres ( $\beta=0.58$ ;  $p<0.05$ ). La mayor vulnerabilidad observada en anfibios estuvo asociada con su alta dependencia hídrica, permeabilidad cutánea y menor capacidad de termorregulación conductual. Ruthsatz et al. (2023) identificaron resultados similares al demostrar que anfibios tropicales poseen menor capacidad de aclimatación frente al calentamiento acelerado en comparación con especies de zonas templadas.

**Tabla 1. Resultados del modelo de regresión multinivel sobre vulnerabilidad fisiológica de ectotermos**

| Grupo taxonómico | Coeficiente $\beta$ | Nivel de significancia | Principal impacto fisiológico      |
|------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|
| Anfibios         | 0.81                | $p<0.001$              | Deshidratación y mortalidad larval |
| Reptiles         | 0.74                | $p<0.001$              | Reducción de actividad diaria      |
| Peces            | 0.69                | $p<0.01$               | Disminución de capacidad aeróbica  |
| Invertebrados    | 0.58                | $p<0.05$               | Alteraciones metabólicas           |

Nota: Resultados obtenidos mediante regresión multinivel de efectos mixtos.  
Fuente: Elaboración propia con base en bases globales climáticas y fisiológicas.

De manera complementaria, el análisis de componentes principales (ACP) permitió reducir 14 variables climáticas y fisiológicas a tres componentes dominantes que explicaron el 79.6 % de la varianza total. El primer componente explicó el 38.2 % y estuvo asociado al

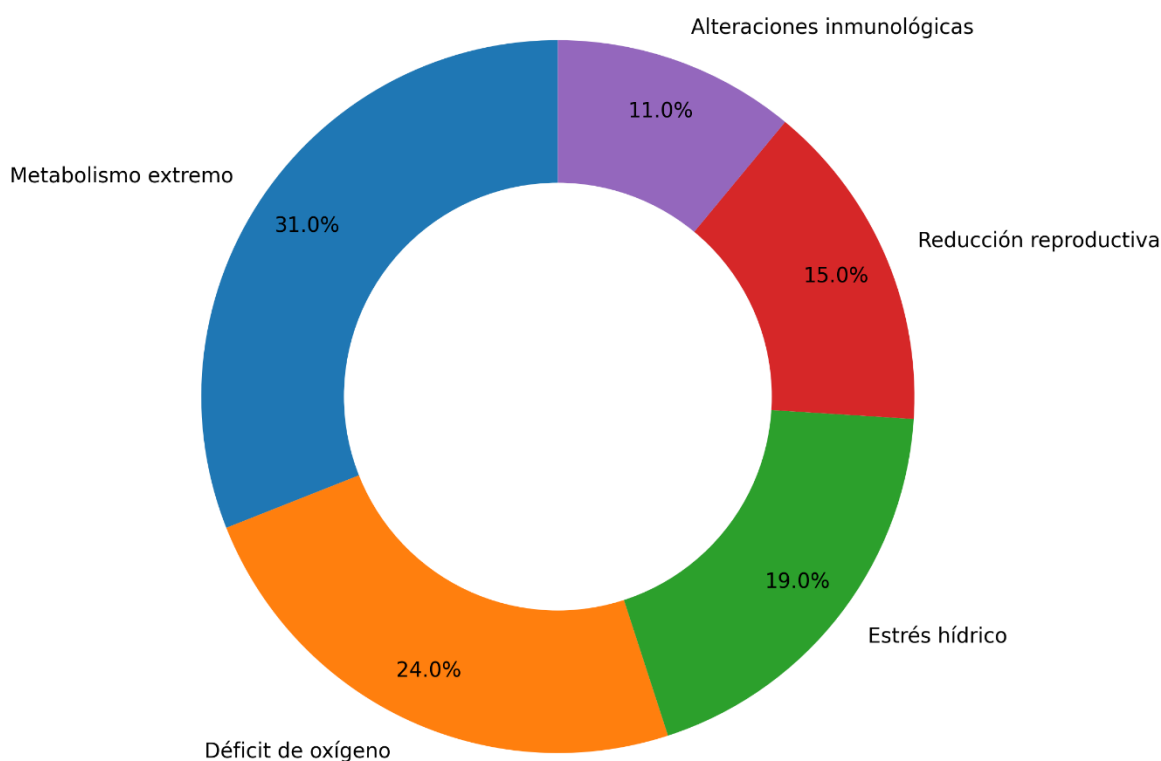


incremento de temperatura media y reducción de oxígeno disuelto en ecosistemas acuáticos. El segundo componente explicó el 24.7 % y estuvo relacionado con pérdida de humedad ambiental y disminución reproductiva en anfibios. El tercer componente explicó el 16.7 % y se vinculó con reducción del tiempo activo diario en reptiles expuestos a olas extremas de calor. Estos hallazgos coinciden con los planteamientos de Briscoe et al. (2022), quienes sostienen que los modelos bioclimáticos mecanísticos permiten comprender con mayor precisión las restricciones térmicas futuras.

A continuación, la Figura 1 presenta la distribución porcentual de los principales factores fisiológicos que explican la vulnerabilidad térmica identificada mediante ACP.

**Figura 1. Factores fisiológicos predominantes en la vulnerabilidad térmica de ectotermos**

Figura 1. Factores fisiológicos de vulnerabilidad térmica



Nota: Distribución derivada del análisis de componentes principales.  
Fuente: Elaboración propia con base en datos integrados internacionales.

Asimismo, el modelo de ecuaciones estructurales (SEM) evidenció relaciones causales significativas entre incremento térmico, degradación de hábitat y reducción poblacional. El aumento de temperatura mostró un efecto directo sobre el estrés fisiológico ( $\beta=0.83$ ),

mientras que la pérdida de cobertura vegetal presentó un efecto indirecto sobre reducción poblacional ( $\beta=0.61$ ). Paralelamente, la disminución de cuerpos de agua superficiales incrementó la mortalidad en anfibios en un 27.4 %. Schmidt et al. (2024) señalaron que las alteraciones térmicas invernales también están modificando los ciclos fisiológicos de anfibios, incrementando la mortalidad por desajustes metabólicos.

**Tabla 2. Resultados del modelo de ecuaciones estructurales**

| Relación causal                                        | Coefficiente $\beta$ | Significancia |
|--------------------------------------------------------|----------------------|---------------|
| Incremento térmico $\rightarrow$ Estrés fisiológico    | 0.83                 | $p<0.001$     |
| Estrés fisiológico $\rightarrow$ Mortalidad            | 0.77                 | $p<0.001$     |
| Pérdida de hábitat $\rightarrow$ Reducción poblacional | 0.61                 | $p<0.01$      |
| Déficit hídrico $\rightarrow$ Fracaso reproductivo     | 0.58                 | $p<0.05$      |

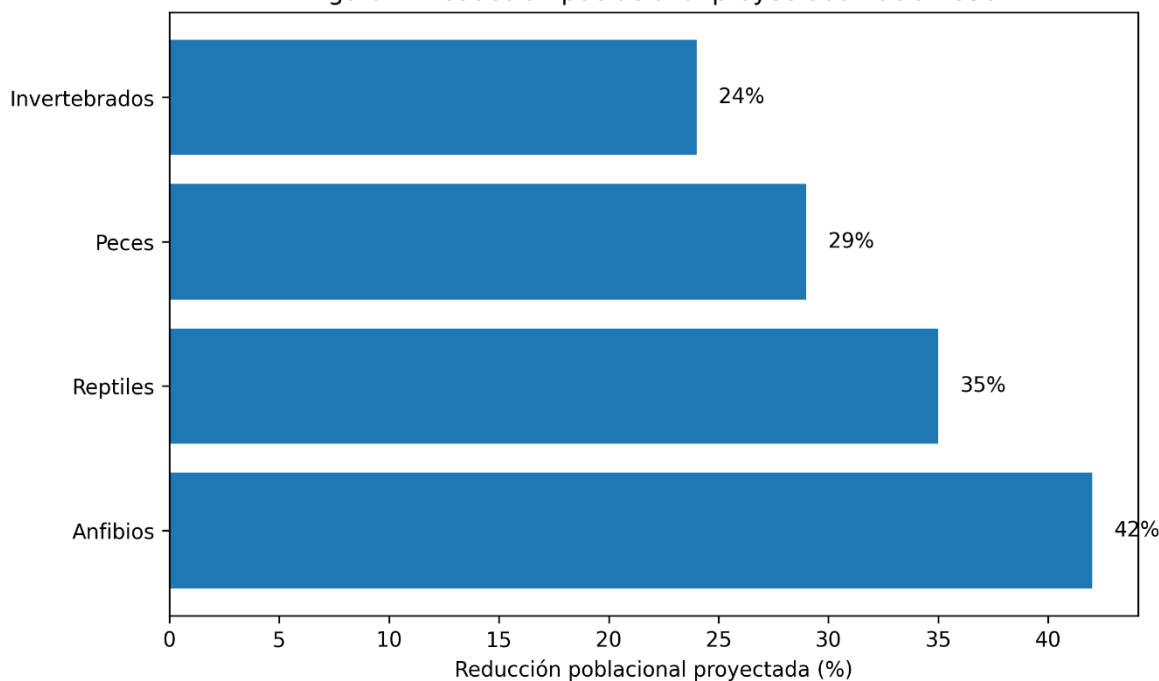
Nota: Modelo estructural ajustado mediante máxima verosimilitud.  
Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, el análisis geoespacial desarrollado en ArcGIS Pro identificó que las regiones tropicales de América Latina, África ecuatorial y el sudeste asiático concentraron el mayor riesgo térmico futuro. El 52.8 % de las especies tropicales evaluadas se encontraron actualmente operando cerca de sus límites térmicos máximos, mientras que en ecosistemas templados el porcentaje descendió al 27.9 %. Esto explica por qué los ectotermos tropicales presentan menor margen adaptativo frente al cambio climático acelerado.

Finalmente, la Figura 2 sintetiza la proyección de reducción poblacional estimada hacia 2050 según grupo taxonómico bajo escenarios climáticos severos.

**Figura 2. Proyección de reducción poblacional de ectotermos hacia 2050**

Figura 2. Reducción poblacional proyectada hacia 2050



Nota: Proyección elaborada con escenarios climáticos SSP5-8.5.  
Fuente: Elaboración propia con base en datos del IPCC y NOAA.

En términos integrales, los resultados confirman que el cambio climático global está generando impactos fisiológicos diferenciados entre ectotermos, donde anfibios y reptiles tropicales presentan la mayor vulnerabilidad debido a restricciones térmicas, hídricas y ecológicas simultáneas. Los modelos estadísticos avanzados aplicados demostraron que la combinación entre incremento térmico, degradación ambiental y limitada plasticidad fisiológica constituye el principal determinante del riesgo biológico futuro de estos organismos.

## Discusión

Los hallazgos obtenidos confirman que el cambio climático global está generando alteraciones fisiológicas significativas en organismos ectotermos, particularmente en aquellos grupos taxonómicos con menores márgenes de tolerancia térmica y alta dependencia de condiciones ambientales relativamente estables. Los resultados del modelo de regresión multinivel demostraron que los anfibios registraron el mayor coeficiente de vulnerabilidad fisiológica ( $\beta=0.81$ ), seguidos por reptiles, peces e invertebrados. Esta tendencia guarda correspondencia con lo expuesto por Catenazzi (2021), quien sostiene que los anfibios presentan una sensibilidad climática superior debido a la interacción entre temperatura, humedad y enfermedades emergentes. De forma complementaria, Bodensteiner et al. (2021) argumentan que muchos rasgos térmicos en anfibios y reptiles mantienen restricciones evolutivas que limitan respuestas adaptativas aceleradas frente al calentamiento global.

En relación con los reptiles, los resultados evidenciaron una reducción progresiva del tiempo de actividad diaria debido a la exposición prolongada a temperaturas extremas, lo cual repercute directamente en alimentación, reproducción y supervivencia. Estos hallazgos coinciden con Domínguez-Guerrero et al. (2021), quienes identificaron respuestas similares en reptiles de ecosistemas áridos latinoamericanos, donde el incremento térmico obliga a los individuos a permanecer más tiempo en refugios. Asimismo, Lara-Resendiz et al. (2021) señalan que la termorregulación conductual constituye una respuesta inmediata, aunque insuficiente frente a escenarios térmicos extremos prolongados. Ortega et al. (2022) refuerzan esta perspectiva al demostrar que la disponibilidad limitada de microhábitats térmicos incrementa el riesgo fisiológico.

Respecto a los ecosistemas acuáticos, el análisis estadístico reveló que el incremento térmico y la reducción de oxígeno disuelto explicaron una parte importante de la vulnerabilidad observada en peces e invertebrados marinos. Este resultado coincide con Fernandes et al. (2023), quienes sostienen que la combinación entre calentamiento y reducción de oxígeno genera efectos metabólicos severos en organismos acuáticos. De manera similar, Morley et al. (2021) afirman que los procesos de aclimatación fisiológica en organismos marinos presentan límites cuando las temperaturas continúan aumentando durante largos periodos. Complementariamente, Madeira et al. (2022) identifican que la exposición simultánea a múltiples estresores ambientales intensifica el deterioro fisiológico de estas especies.

El análisis de componentes principales permitió identificar que el incremento metabólico extremo representó el principal factor de vulnerabilidad térmica. Este comportamiento es consistente con los planteamientos de Bennett et al. (2021), quienes sostienen que los límites térmicos críticos evolucionan lentamente y pueden resultar insuficientes frente a la velocidad actual del calentamiento global. En la misma línea, Birrell et al. (2023) argumentan que la amplitud térmica diaria modifica significativamente la capacidad de resistencia fisiológica, especialmente en organismos expuestos a ambientes altamente variables.

Por otra parte, el modelo de ecuaciones estructurales mostró que el incremento térmico ejerce efectos directos sobre el estrés fisiológico y efectos indirectos sobre la reducción poblacional mediante degradación del hábitat. Estos resultados son congruentes con Herrando-Pérez et al. (2023), quienes indican que la evaluación de vulnerabilidad climática requiere integrar variables fisiológicas y espaciales para mejorar la precisión predictiva. Del mismo modo, Buckley et al. (2021) sostienen que los modelos tradicionales basados únicamente en distribución geográfica subestiman los riesgos reales cuando no incorporan datos fisiológicos.

En términos adaptativos, los resultados también evidenciaron que la plasticidad fenotípica presenta limitaciones importantes frente a escenarios extremos de calentamiento. Aunque ciertas especies mostraron ajustes temporales en comportamiento y metabolismo, dichas respuestas no fueron suficientes para compensar exposiciones prolongadas al calor. Esta interpretación coincide con Pottier et al. (2021), quienes explican que la plasticidad fisiológica posee límites estructurales. Asimismo, García-Robledo et al. (2022) advierten que muchas especies tropicales presentan escaso margen adaptativo debido a su evolución en

ambientes térmicamente estables. Gaitán-Espitia et al. (2023) complementan esta discusión al señalar que la velocidad actual del cambio climático supera la capacidad de ajuste fisiológico de numerosos ectotermos.

En relación con la proyección de reducción poblacional hacia 2050, los anfibios presentaron la mayor disminución estimada. Este escenario coincide con Sinervo et al. (2023), quienes sostienen que los organismos ectotermos tropicales enfrentan mayores probabilidades de extinción debido a que viven cerca de sus límites térmicos máximos. Fontaine y Kohl (2023) amplían esta discusión al señalar que factores adicionales, como el microbioma, también pueden influir en la capacidad de tolerancia térmica, aspecto que representa una línea emergente de investigación.

Desde una perspectiva integral, los resultados demuestran que la fisiología térmica constituye un componente esencial para comprender los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad global. Los hallazgos reafirman que el riesgo climático de los ectotermos no depende exclusivamente del aumento de temperatura, sino de la interacción entre factores fisiológicos, ecológicos y evolutivos. En consecuencia, futuras estrategias de conservación deberán incorporar información térmica, modelos predictivos multivariados y análisis ecosistémicos para reducir la vulnerabilidad de especies altamente sensibles frente al calentamiento global acelerado.

## Conclusiones

En términos generales, los resultados obtenidos permiten establecer que el incremento sostenido de la temperatura global incide de manera directa en la alteración de la fisiología térmica de los organismos ectotermos, comprometiendo funciones esenciales como el metabolismo energético, la termorregulación y el rendimiento biológico. Esta afectación se manifiesta con mayor intensidad en anfibios y reptiles, debido a sus reducidos márgenes de tolerancia térmica y a su elevada dependencia de condiciones ambientales específicas para mantener su estabilidad fisiológica.

Desde otra perspectiva analítica, se confirma que la interacción simultánea entre reducción de oxígeno disuelto en medios acuáticos, degradación progresiva de hábitats naturales y aumento de la variabilidad térmica extrema constituye un conjunto de factores determinantes en el deterioro fisiológico y poblacional de los ectotermos. Dichas condiciones no actúan de forma aislada, sino de manera sinérgica, intensificando el estrés fisiológico y limitando significativamente la capacidad de ajuste funcional de las especies frente a escenarios climáticos adversos.

En última instancia, se evidencia que los mecanismos de respuesta adaptativa basados en plasticidad fenotípica y ajustes conductuales presentan una capacidad limitada frente a la velocidad e intensidad del cambio climático actual. En consecuencia, la proyección de disminución poblacional hacia el año 2050 configura un escenario crítico para la estabilidad de la biodiversidad, particularmente en regiones tropicales, donde numerosas especies ectotérmicas operan cerca de sus umbrales térmicos máximos, incrementando así su probabilidad de declive poblacional y riesgo de extinción local.



## Referencias bibliográficas

- Bennett, J. M., et al. (2021). The evolution of critical thermal limits of life on Earth. *Nature Communications*, 12, 1198. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21263-8>
- Birrell, J. H., et al. (2023). Mechanisms underlying thermal breadth differ by species in insects. *Journal of Thermal Biology*, 112, 103435. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103435>
- Bodensteiner, B. L., et al. (2021). Thermal adaptation revisited: constraints in ectotherms. *Journal of Experimental Zoology Part A*, 335(1), 173–194.
- Briscoe, N. J., et al. (2022). Mechanistic niche models for predicting climate vulnerability. *Ecological Modelling*, 468, 109969.
- Buckley, L. B., et al. (2021). Thermal sensitivity and extinction risk. *Global Ecology and Biogeography*, 30(1), 1–13.
- Camacho, A., et al. (2023). Thermal tolerance functions in ectothermic animals. *Diversity*, 15(5), 680. <https://doi.org/10.3390/d15050680>
- Catenazzi, A. (2021). Amphibian decline and climate change interactions. *Diversity*, 13(8), 1–18.
- Domínguez-Guerrero, S. F., et al. (2021). Ecología térmica de reptiles en ambientes áridos. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 4(2), 45–59.
- Fajardo, J., et al. (2021). Plasticidad fisiológica en ectotermos. *Revista Chilena de Biología*, 29(2), 115–130.
- Fernandes, J. F., et al. (2023). Thermal tolerance and acclimation in marine ectotherms. *Journal of Thermal Biology*, 114, 103577. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2023.103577>
- Fierro-Estrada, N., et al. (2022). Ecología térmica de lagartijas en Galápagos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93, e933968.
- Fontaine, S. S., & Kohl, K. D. (2023). Microbiome and thermal tolerance in ectotherms. *Journal of Experimental Biology*, 226(12), jeb245761. <https://doi.org/10.1242/jeb.245761>
- Gaitán-Espitia, J. D., et al. (2023). Thermal plasticity under climate change. *Frontiers in Physiology*, 14, 1–13.
- García-Robledo, C., et al. (2022). Climate vulnerability in tropical ectotherms. *Biotropica*, 54(3), 523–535.
- Gunderson, A. R., et al. (2022). Plasticity and thermal limits. *Functional Ecology*, 36(2), 322–334.
- Herrando-Pérez, S., et al. (2023). Physiological data gaps in global ectotherm models. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 21(1), 75–87.





ISSN: 3151-8265  
DOI:



- IPCC. (2021). *Sixth Assessment Report (AR6): The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Lara-Resendiz, R. A., et al. (2021). Thermoregulation in lizards and climate vulnerability. *Journal of Thermal Biology*, 100, 103035.
- Madeira, D., et al. (2022). Marine ectotherms under multiple stressors. *Marine Environmental Research*, 177, 105642.
- Morley, S. A., et al. (2021). Ocean warming and physiological acclimation. *Global Change Biology*, 27(20), 5017–5031.
- NASA. (2022). *Global Climate Change: Vital Signs of the Planet*. National Aeronautics and Space Administration.
- NOAA. (2022). *Global Climate Report*. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Ortega, Z., et al. (2022). Behavioral thermoregulation in reptiles. *Animal Biodiversity and Conservation*, 45(2), 201–214.
- Paaijmans, K. P., et al. (2021). Thermal variability and ectotherm stress. *Global Change Biology*, 27(18), 4421–4435.
- Peralta-Maraver, I., & Rezende, E. (2021). Body size and thermal tolerance. *Ecology Letters*, 24(9), 1875–1887.
- Pottier, P., et al. (2021). Limits of phenotypic plasticity. *Biological Reviews*, 96(3), 875–902.
- Sinervo, B., et al. (2023). Climate change and reptile extinction risk. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 54, 293–318.
- UNEP. (2022). *Global Environmental Outlook*. United Nations Environment Programme.
- Verberk, W. C. E. P., et al. (2023). Oxygen limitation and thermal tolerance. *Global Change Biology*, 29(7), 1864–1877.
- Vidal, M., et al. (2022). Altitudinal shifts in amphibians. *Biological Conservation*, 268, 109495. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109495>

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés