

Impactos ecológicos del cambio climático

Gerardo Martín

A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems

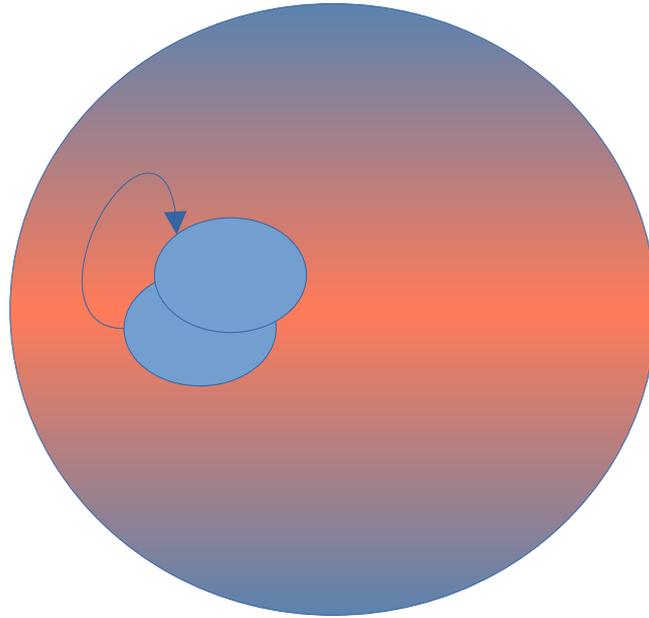
Camille Parmesan* & Gary Yohe†

* *Integrative Biology, Patterson Laboratories 141, University of Texas, Austin, Texas 78712, USA*

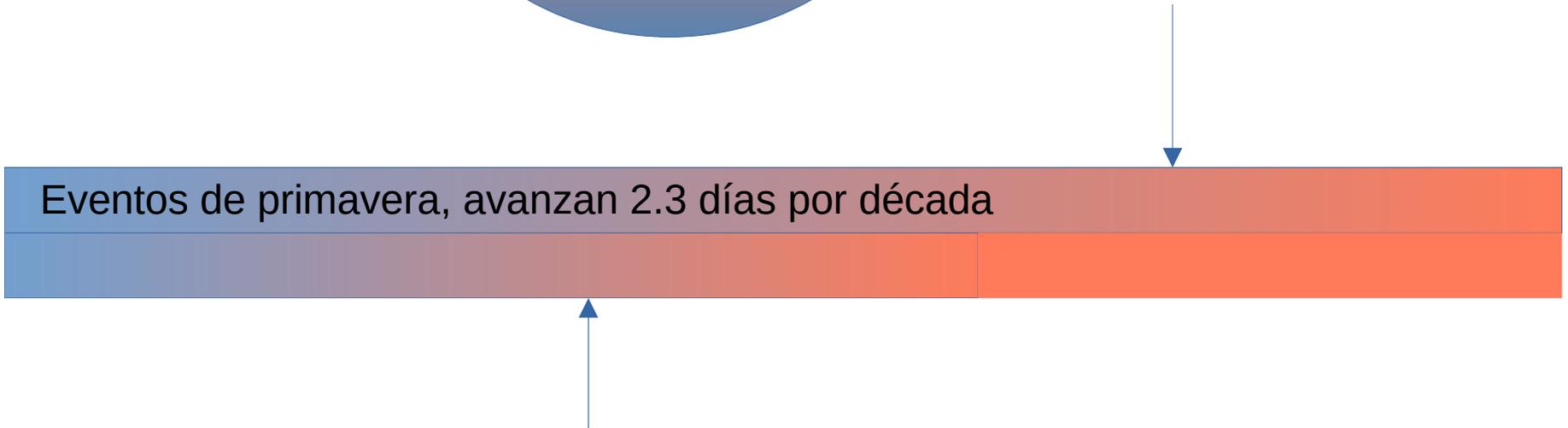
† *John E. Andrus Professor of Economics, Wesleyan University, 238 Public Affairs Center, Middletown, Connecticut 06459, USA*

Evaluaciones tempranas de impactos de cambio climático

Distribuciones de organismos se mueven ~ 6.1 km/década hacia polos



Eventos de primavera, avanzan 2.3 días por década



Primer análisis en demostrar que cambio climático ya estaba impactando sistemas vivientes (¡en 2003!)

Espacio disponible

Tiempo



Condiciones propicias



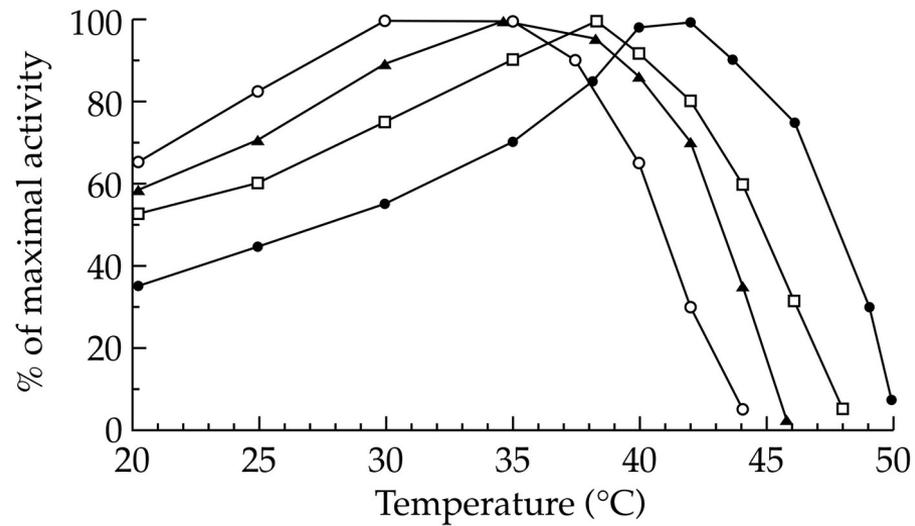
Alternativas para ecólogos

- Caracterizar respuesta de organismos a condiciones ambientales
- Encontrar límites de tolerancia fisiológica



**Modelado
de nichos
ecológicos**

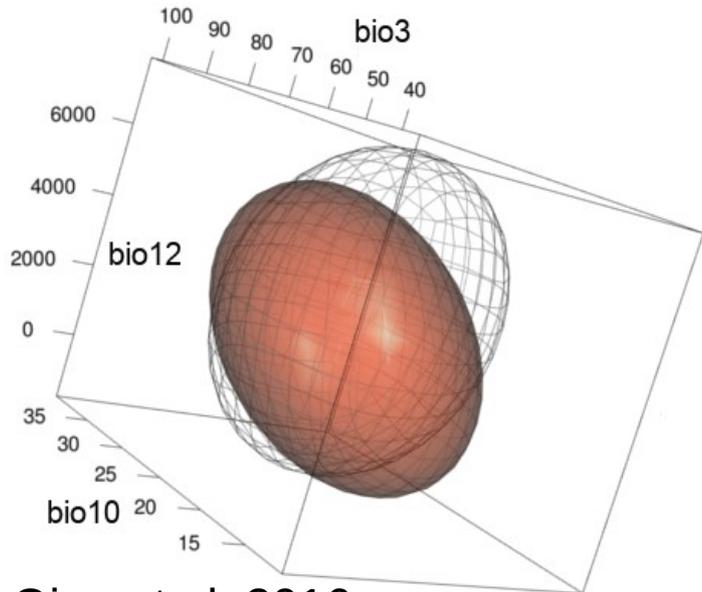
Alternativas de modelación



Hendra virus survival does not explain spillover patterns and implicates relatively direct transmission routes from flying foxes to horses

Journal: *Emerging Infectious Diseases*, 2017, Volume 23, Number 11, Pages 2017-2024
 Authors: Qiao et al. 2016

yo



Qiao et al. 2016

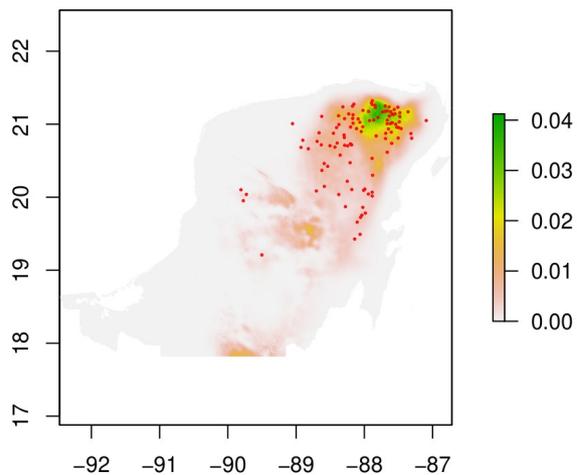
$$\begin{aligned}
 & Q_{\text{SOLAR}} + Q_{\text{IR,in}} + m_{\text{O}_2} + \text{Work} \\
 m_{\text{F,I}} - m_{\text{F,D}} = m_{\text{F,A}} = & \left(\frac{Q}{m} \right) + m_{\text{F,G}} + m_{\text{F,R}} + m_{\text{F,S}} \\
 & \parallel \text{METAB} \\
 & m_{\text{F,CO}_2} = Q_{\text{IR,out}} \\
 & + m_{\text{F,NH}_3^+} + Q_{\text{CONV}} \\
 & + m_{\text{F,W}} \longrightarrow + \left(\frac{Q}{m} \right) \\
 m_{\text{W,I}} - m_{\text{W,D}} = m_{\text{W,A}} + m_{\text{F,W}} = & \left(\frac{Q}{m} \right) + m_{\text{W,U}} + m_{\text{W,S}} \\
 & + Q_{\text{COND}} + Q_{\text{S}}
 \end{aligned}$$

- Q = Heat
- m = Mass
- F = Food
- W = Water
- I = Ingested
- D = Defecated
- A = Absorbed
- U = Urine
- G = Growth
- R = Reproduction
- S = Stored

Kearney et al. 2009

X_1, X_2, \dots, X_n , condiciones actuales e históricas

$$\log \lambda = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots$$

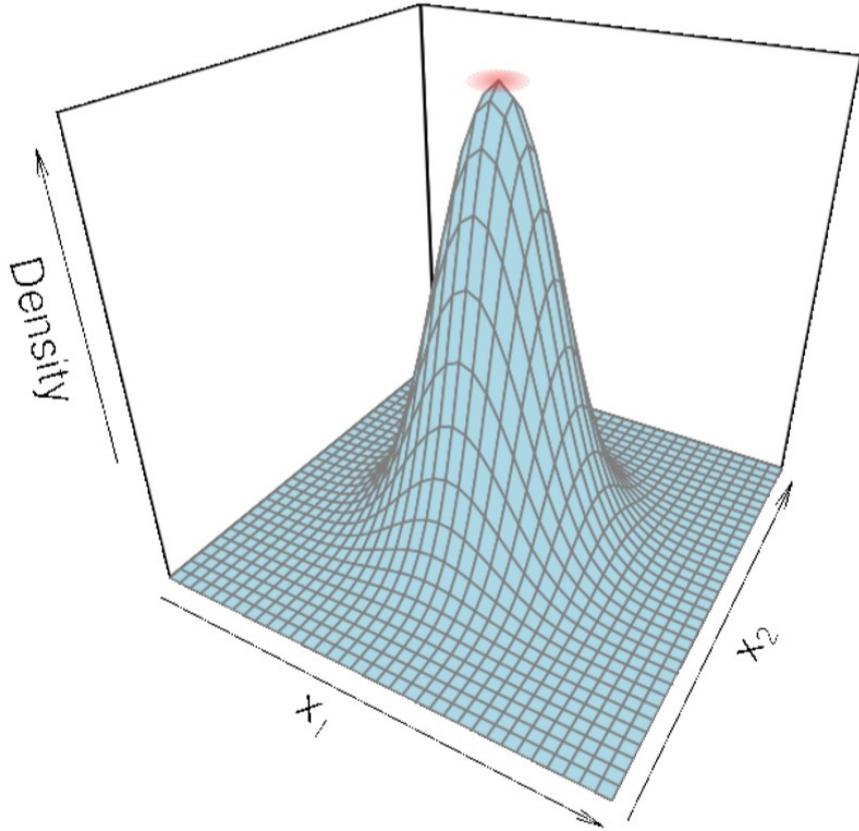


Posibles valores futuros:

Variabl e	Presente	SSP1	SSP2	SSP3
X_1	25.5	24.0	26	27
X_2	100.1	110	95	80
X_n	15.34	14	16	20

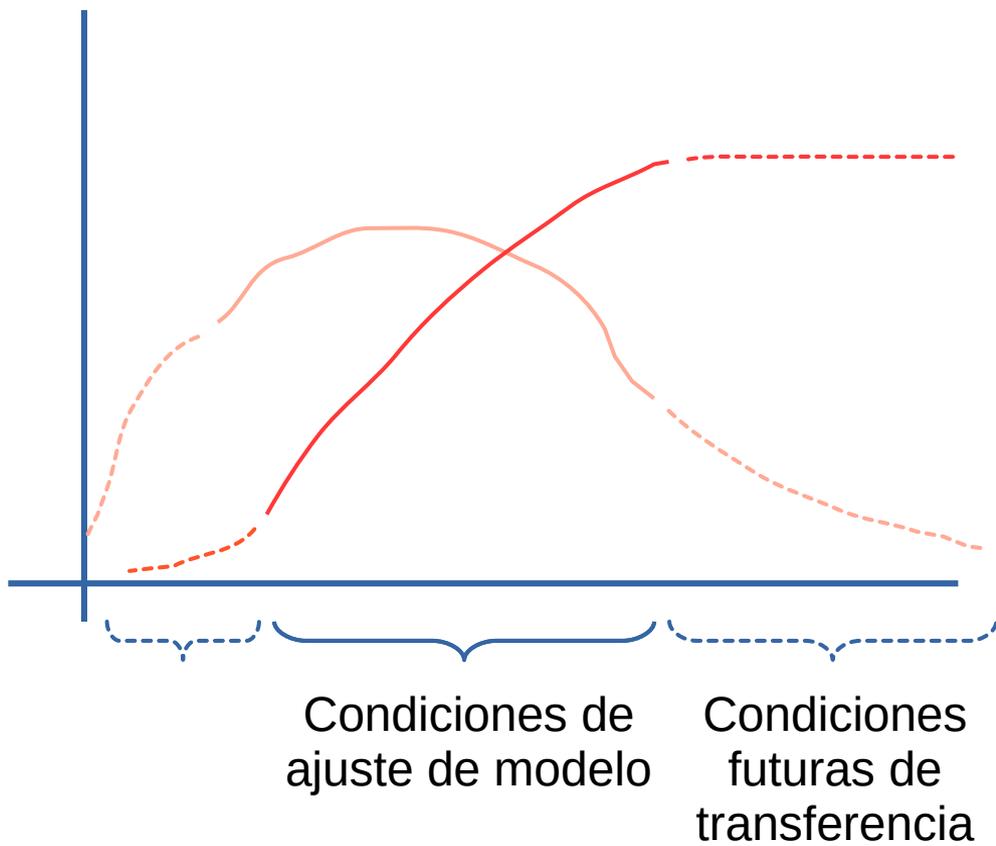
λ	8.5	9.3	7.8	6.3
-----------	-----	-----	-----	-----

Requisitos del modelo



Caracterización correcta de condiciones óptimas:

Predice patrones de abundancia ó distribución?



Que no haya
extrapolación

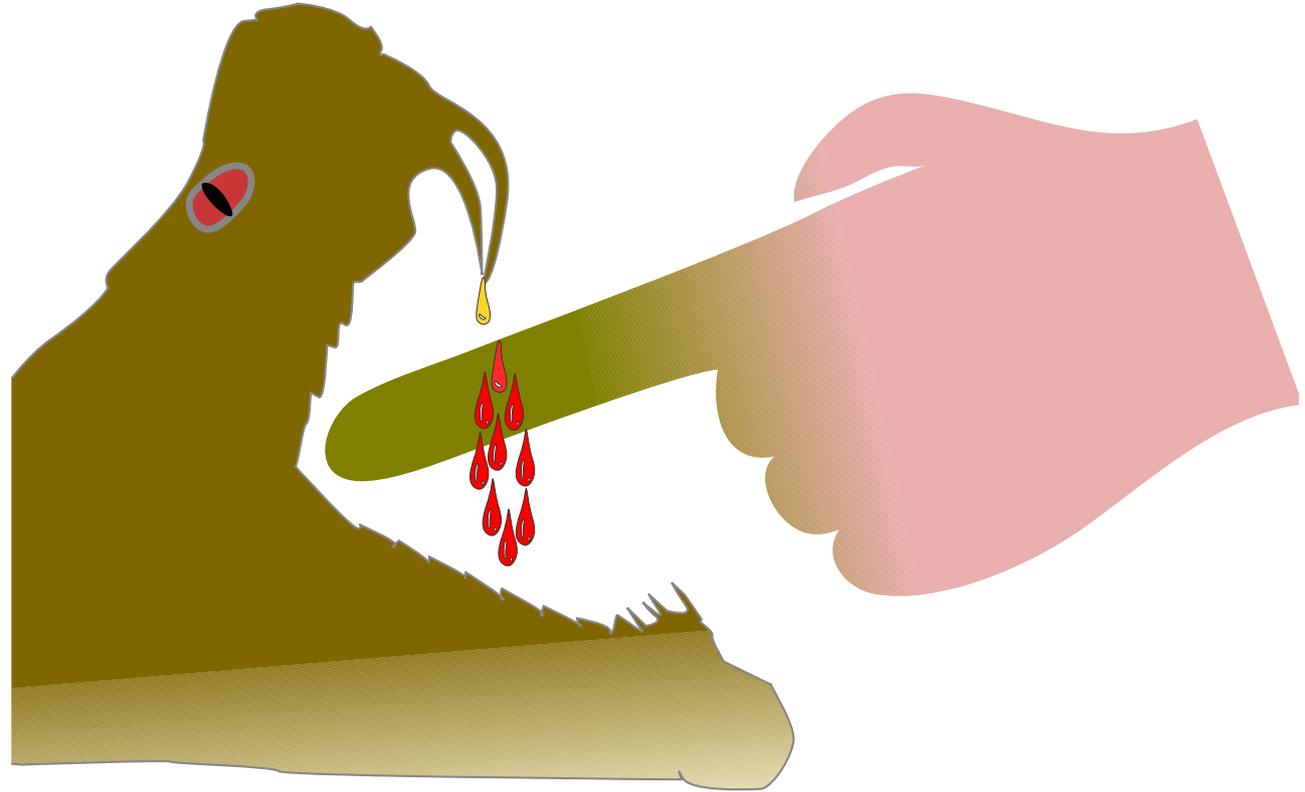
¿Cuál modelo es más
confiable extrapolando?

Aplicaciones:

Efecto del cambio global sobre la epidemiología
del ofidismo

Ofidismo

- Envenenamiento por mordedura de serpiente
- Conjunto de enfermedades por intoxicación
- Diversidad de signos clínicos

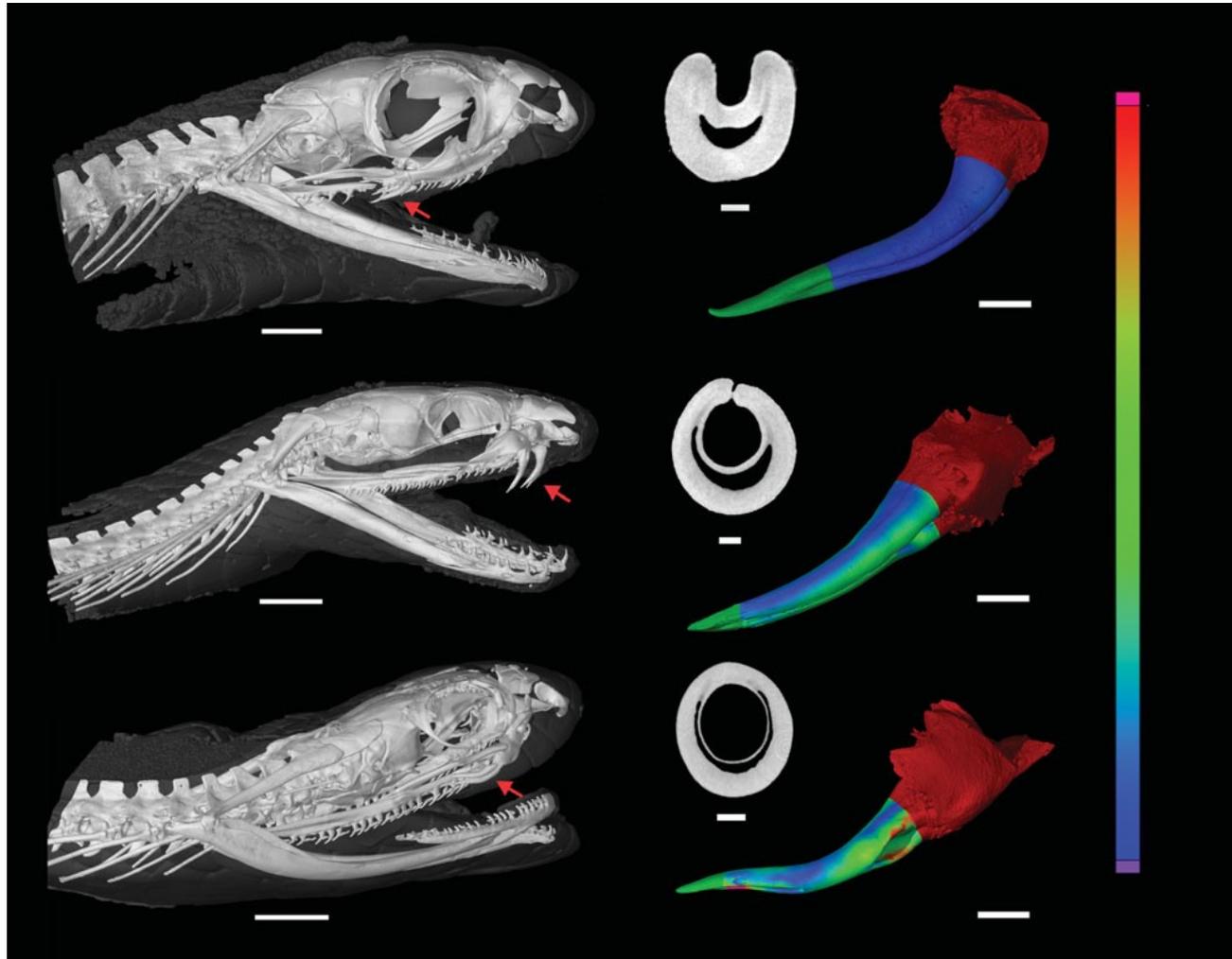


Las serpientes

Opisthoglifas.
Culebras

Solenoglifas
Elapidae
(cobras, coralillo)

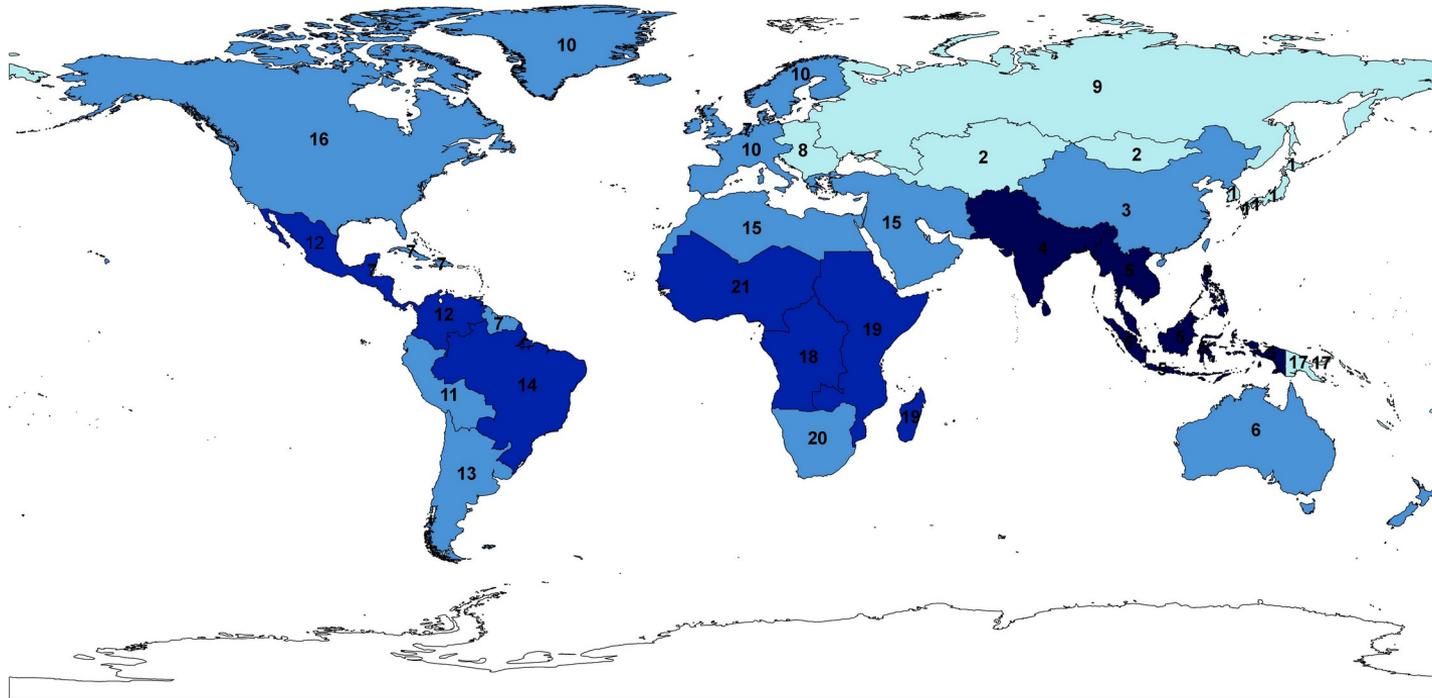
Proteroglifas.
Viperidae
(víboras)



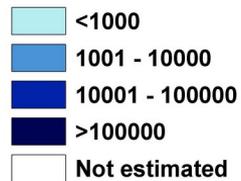
Broeckhoven & Pleiss. 2017. Has snake fang evolution lost its bite? New insights from a structural mechanics viewpoint. Proceedings B

Ofidismo

- Enfermedad tropical desatendida
- Única no infecciosa
- ~ 20 – 95K muertes anuales (2008)

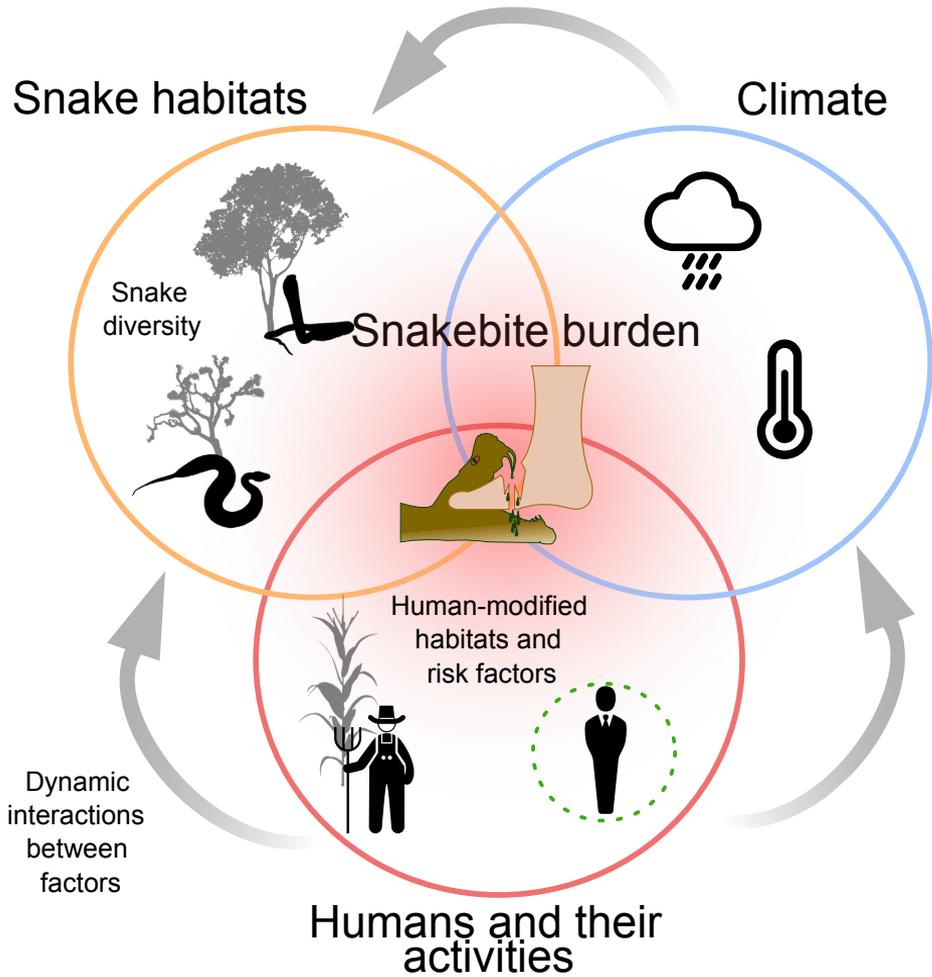


Number of envenomings per GBD region per year



GBD regions

- | | | |
|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 1 Asia Pacific, High Income | 8 Europe, Central | 15 North Africa/ Middle East |
| 2 Asia, Central | 9 Europe, Eastern | 16 North America, High Income |
| 3 Asia, East | 10 Europe, Western | 17 Oceania |
| 4 Asia, South | 11 Latin America, Andean | 18 Sub Saharan Africa, Central |
| 5 Asia, Southeast | 12 Latin America, Central | 19 Sub Saharan Africa, East |
| 6 Australasia | 13 Latin America, Southern | 20 Sub Saharan Africa, Southern |
| 7 Caribbean | 14 Latin America, Tropical | 21 Sub Saharan Africa, West |

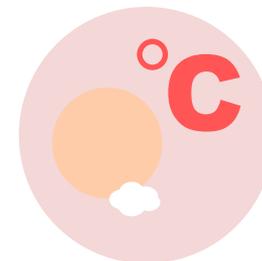
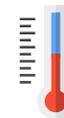
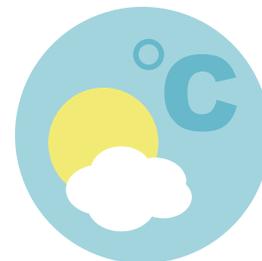
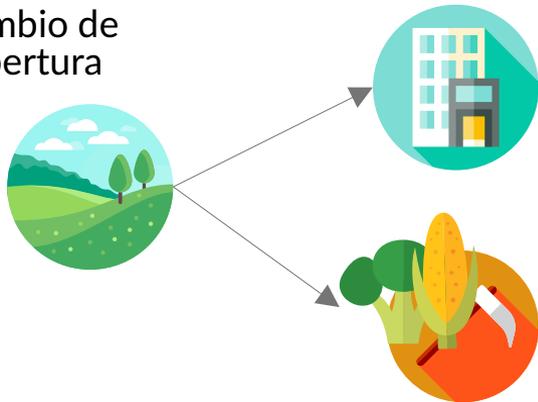


Es un proceso ecosistémico:

¿Qué regula el contacto humano-serpiente y la inyección de veneno?

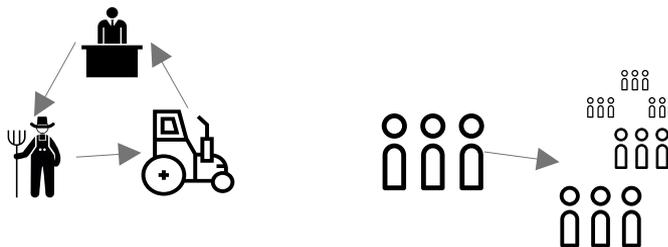
¿Hay mecanismos que permitan que clima y cambio de uso de suelo afecten su epidemiología?

Cambio de cobertura



Calentamiento global

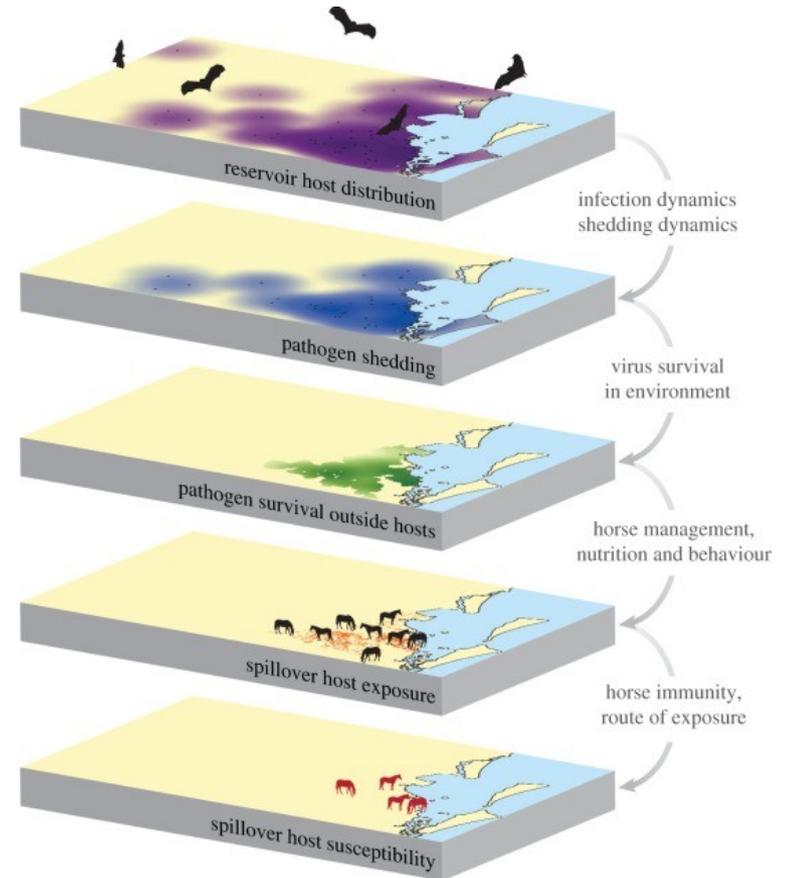
Cambio global



Cambio demográfico y socioeconómico

Ecología de las zoonosis infecciosas

- Contacto humano – hospedero y transmisión de agente patógeno
- Factores a nivel ecosistema para transmisión (figura)

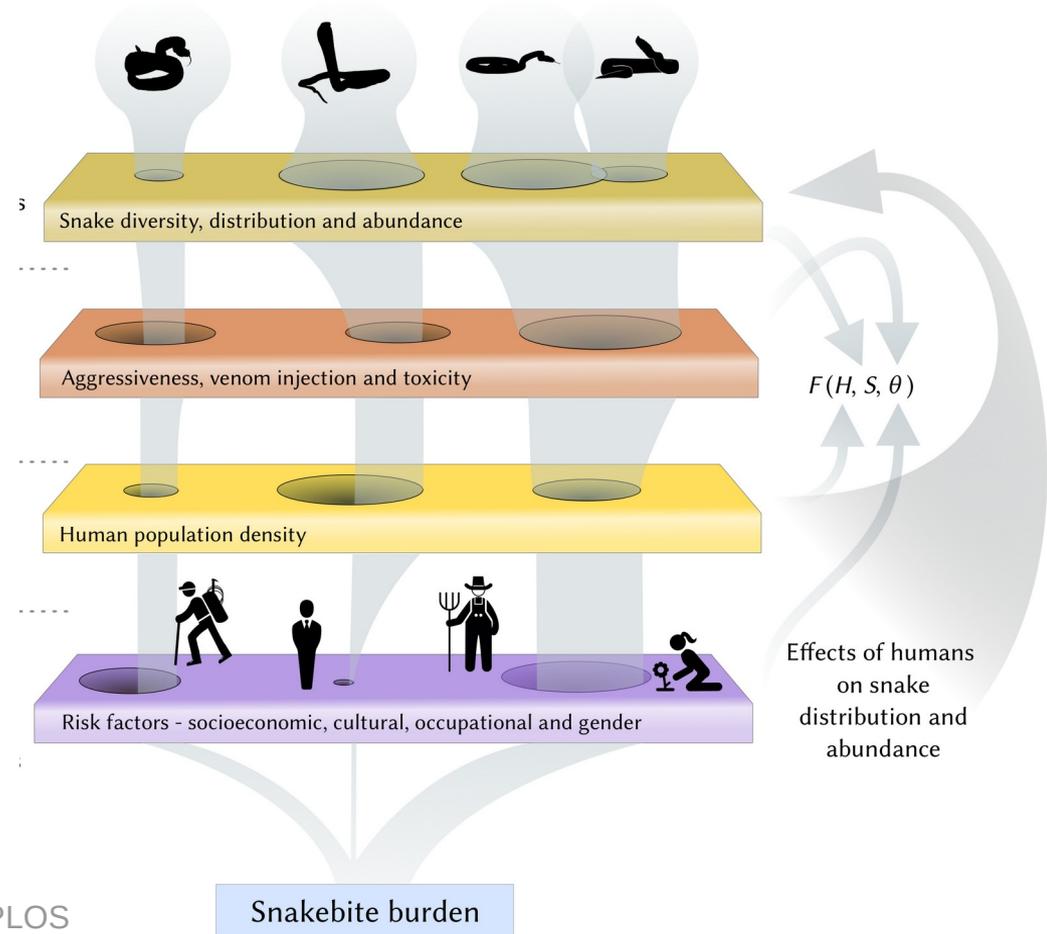


Similitud ofidismo - zoonosis

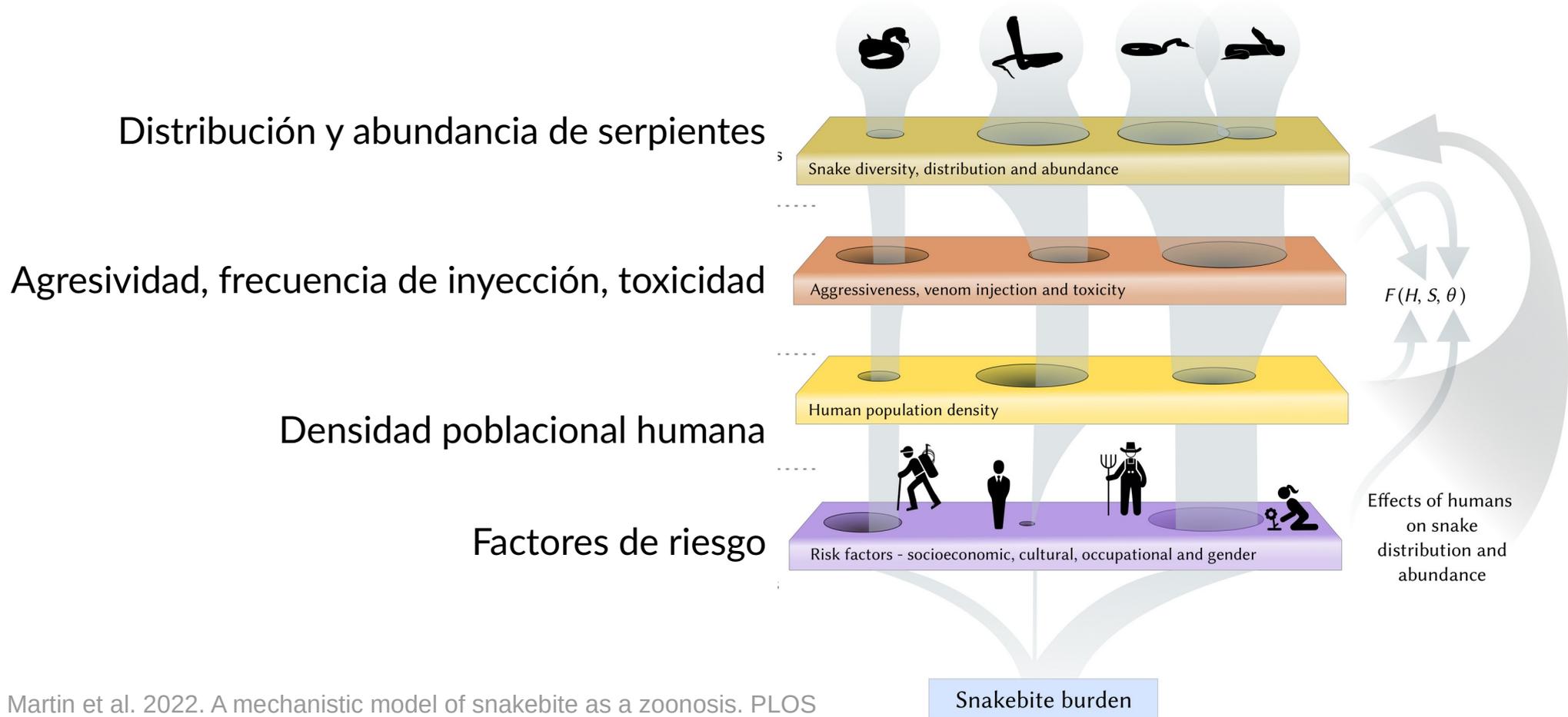
Reservorio:
serpientes

Agente:
sustancia química

Hospedero alternativo:
humano



Similitud ofidismo - zoonosis



Diferencias

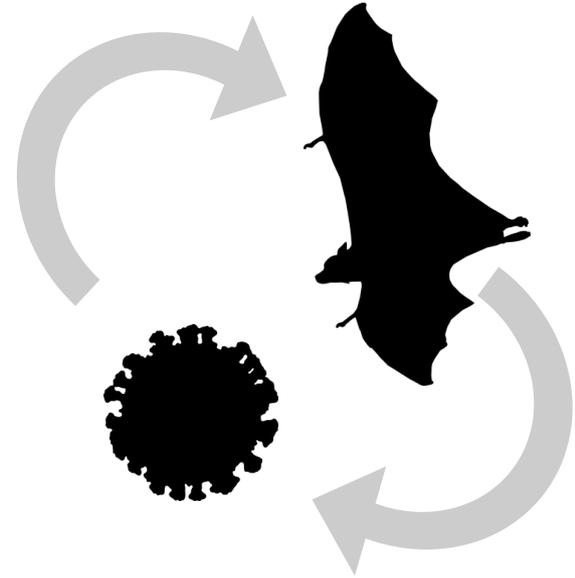
Ofidismo



Prevalencia ~ 100%

Dinámica del agente causal

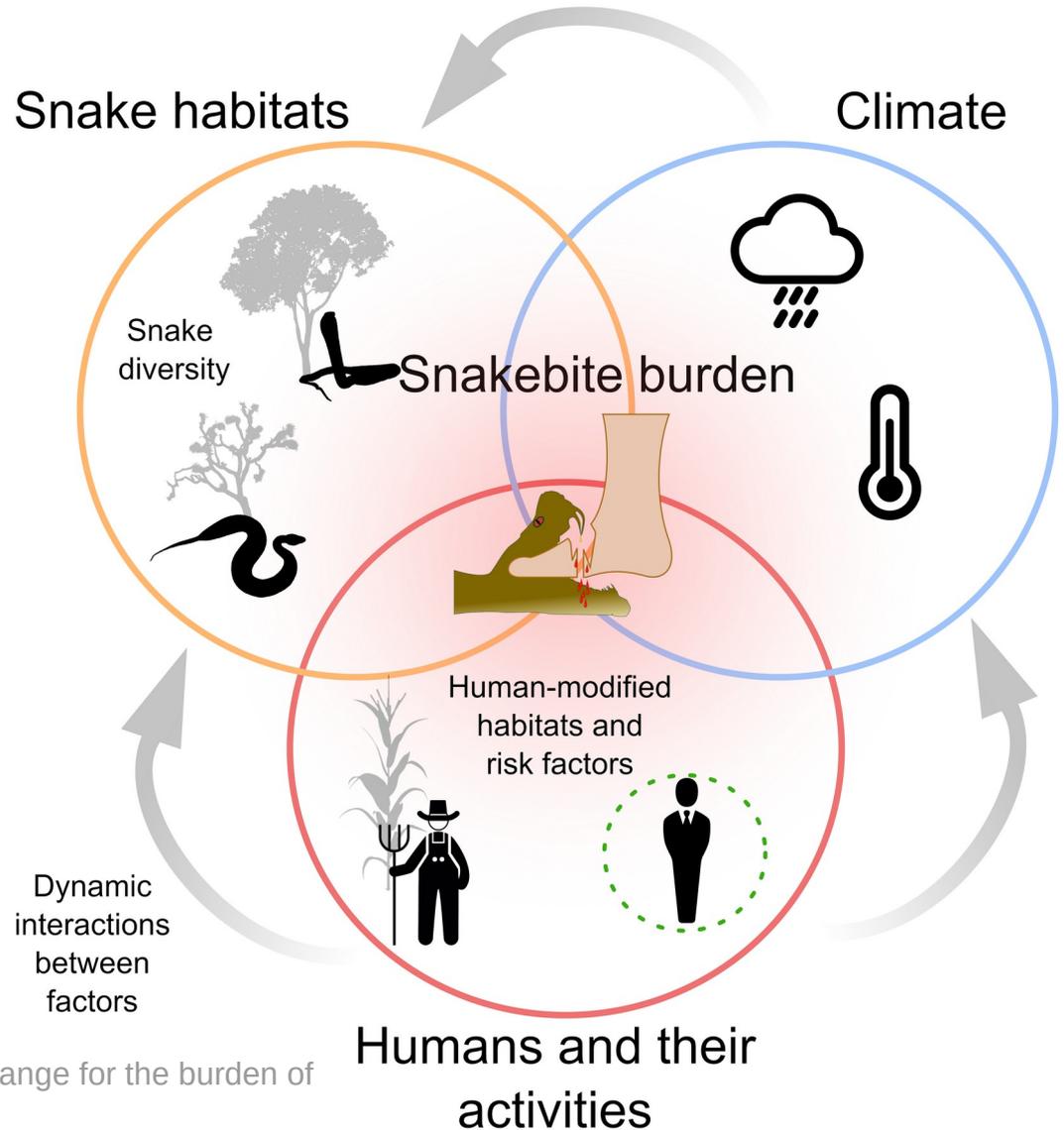
Zoonosis infecciosas



Prevalencia muy variable,
Impredecible.

Sistema caótico-estocástico

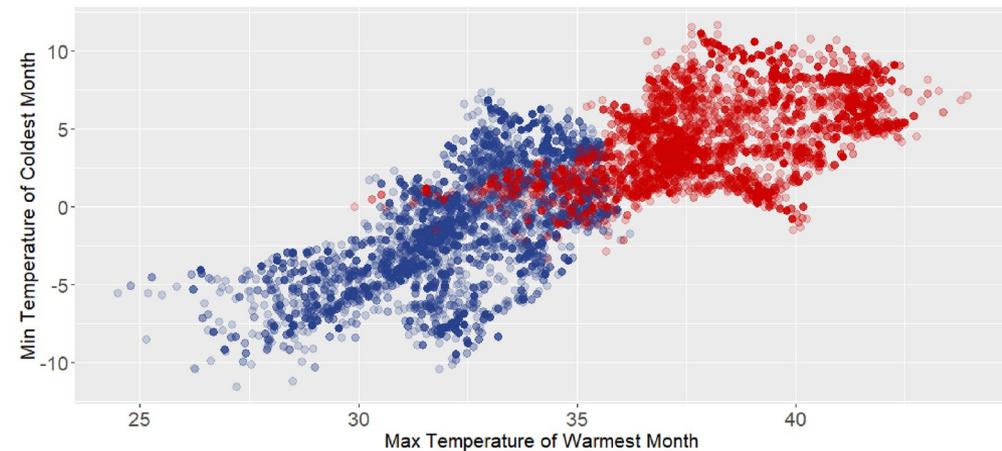
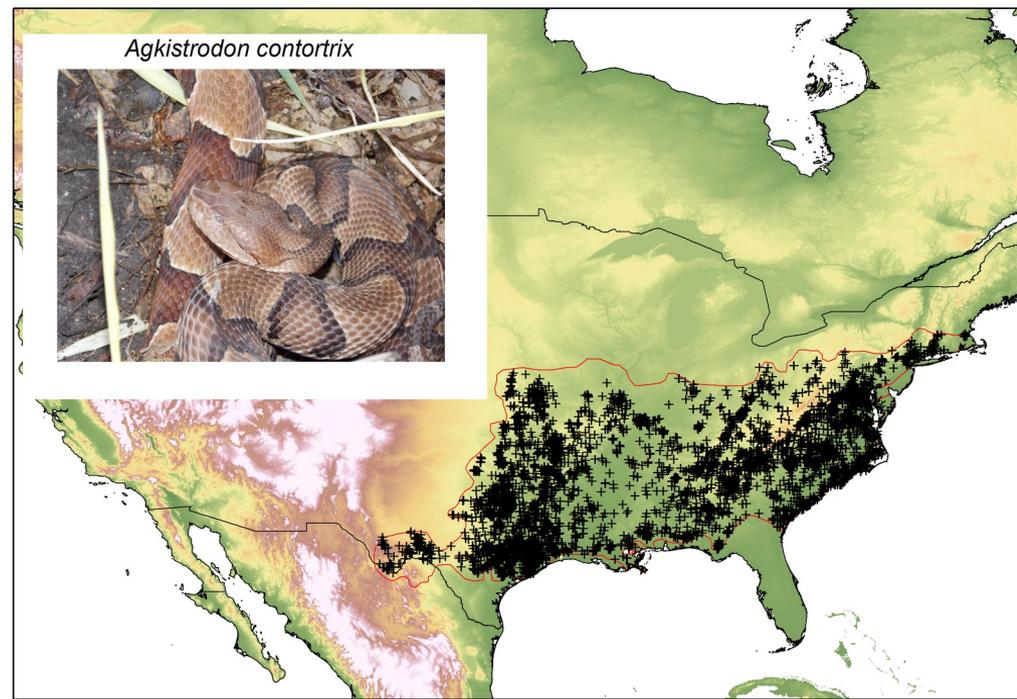
Ecología del cambio global del ofidismo



Efecto del cambio climático sobre serpientes

- Directo, tolerancia fisiológica (térmica, transpiración)
- Indirecto, tolerancia de presas
- Tropicalización de zonas templadas

Cambios simultáneos globales



Efectos del calentamiento global sobre humanos

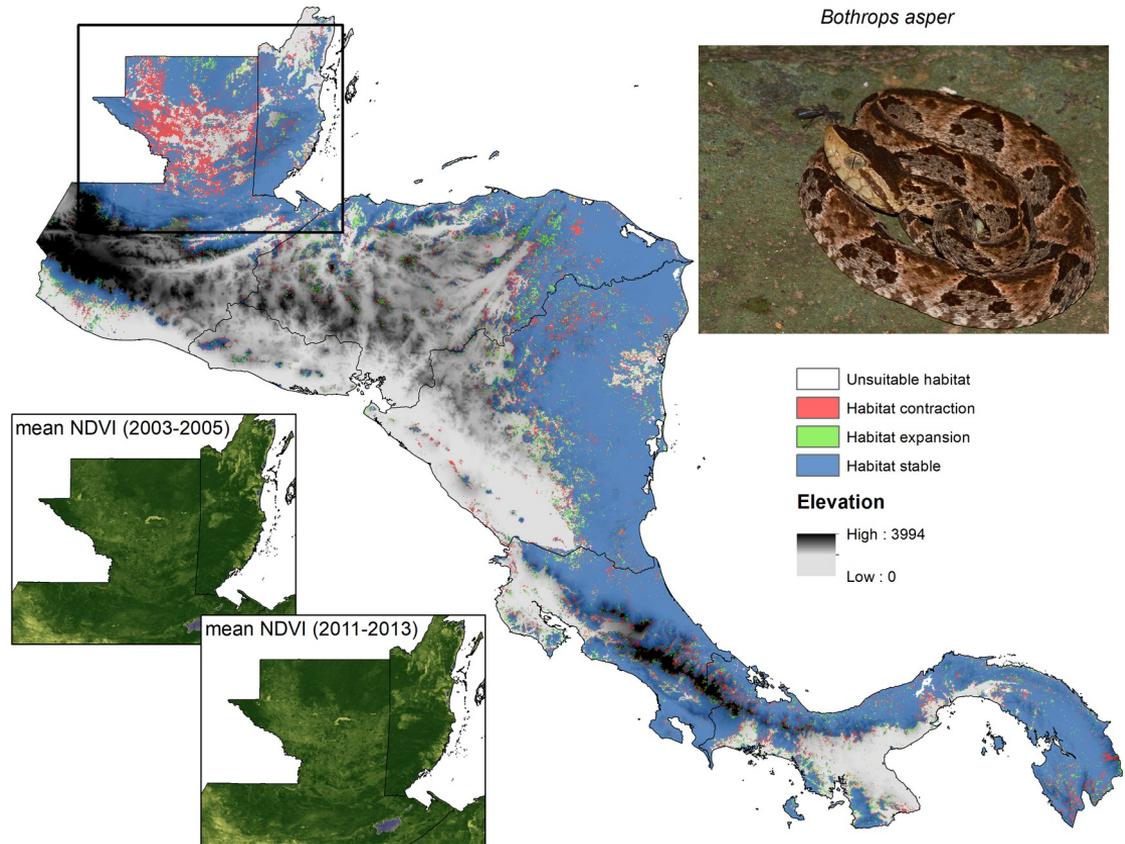
- Cultivos
- Ecosistemas
- Prácticas de agricultura
 - Exposición
 - Diversidad de serpientes



Cobertura

- Representa:
 - Riesgos ocupacionales¹
 - Hábitat de serpientes y presas²

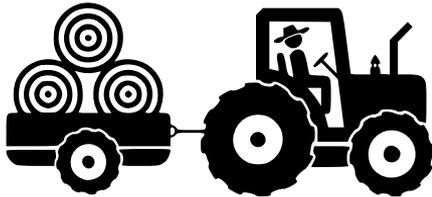
Cambios locales
(Cambio de ensamble
de especies)



1. Ganzeboom et al. 1992. A standard international socio-economic index of occupational status. Social Science Research.

2. Martin et al. 2021. Integrating snake distribution, abundance and expert-derived behavioural traits predicts snakebite risk. J Appl Eco

Socioeconómico



- Factores de riesgo ocupacionales
 - Agricultura
 - Mecanización
- Afectan directamente cobertura de suelo y cambio climático

En resumen

- Templadas
 - Colonización por especies tropicales
- Tropicales
 - Declives potenciales

Calentamiento global

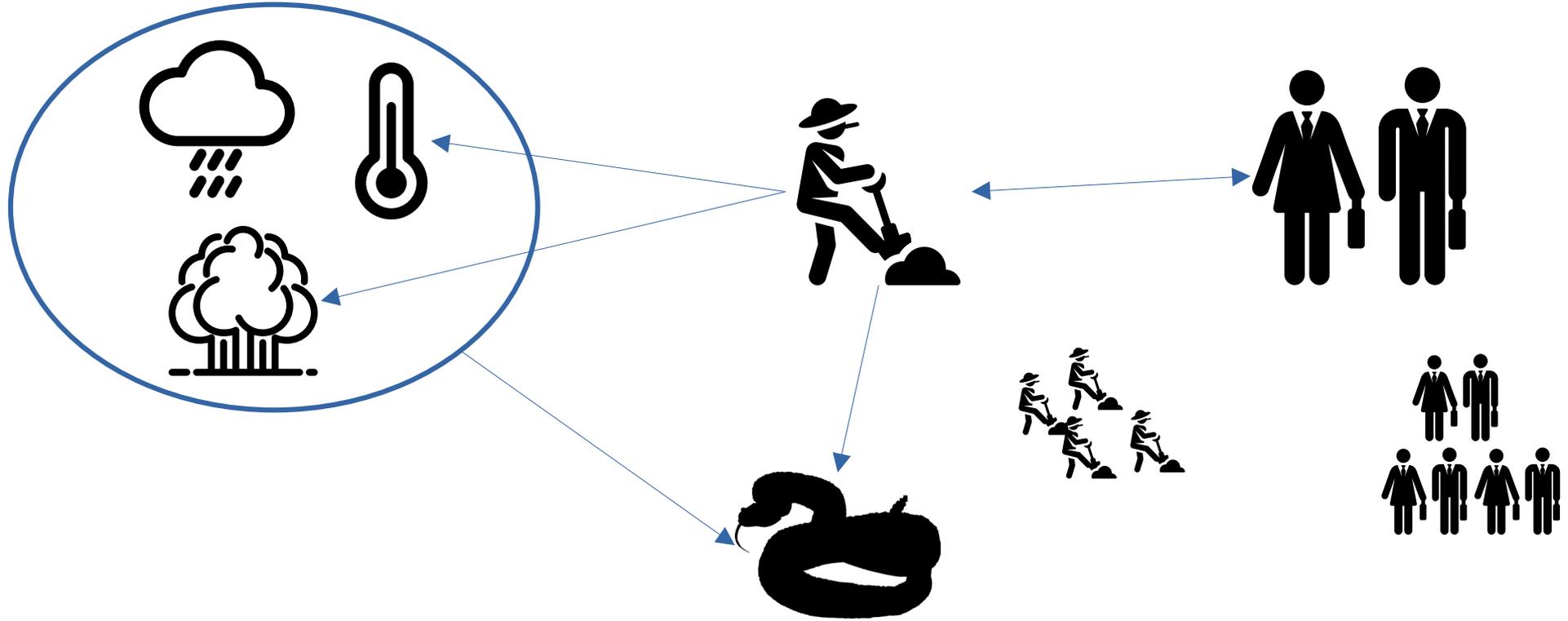
- Cambio de cobertura
 - Facilitan colonizaciones cercanas



- Socioeconómico
 - Cambio de factores de riesgo
 - Depende de especies de serpiente

¿Es posible predecir impacto del cambio global sobre ofidismo y otras zoonosis?

Requerimientos



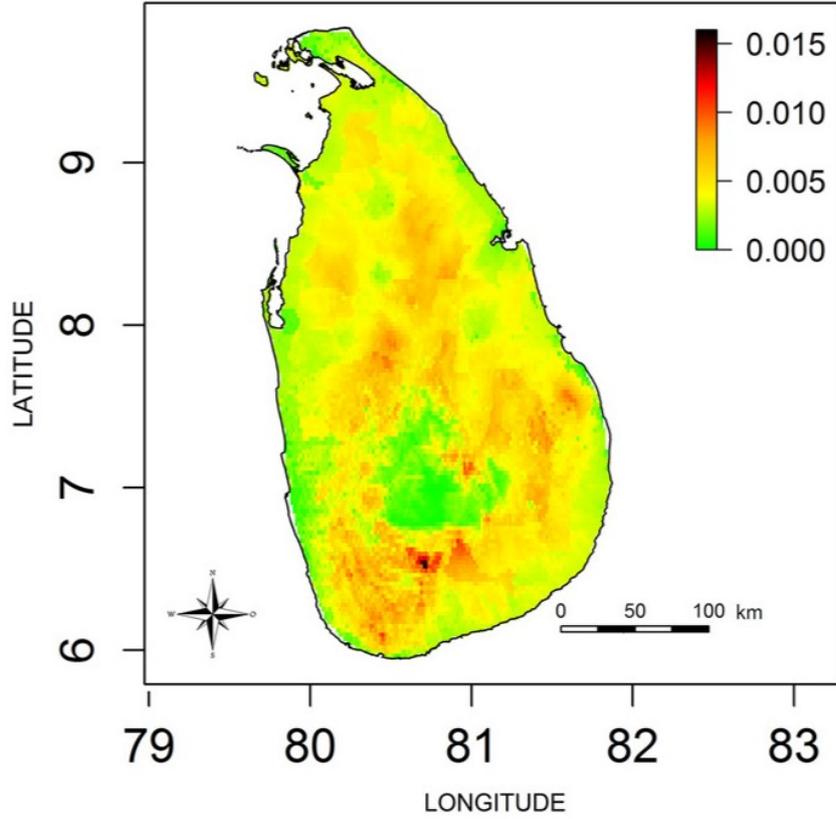
Experimento de generación de modelo con el caso de Sri Lanka



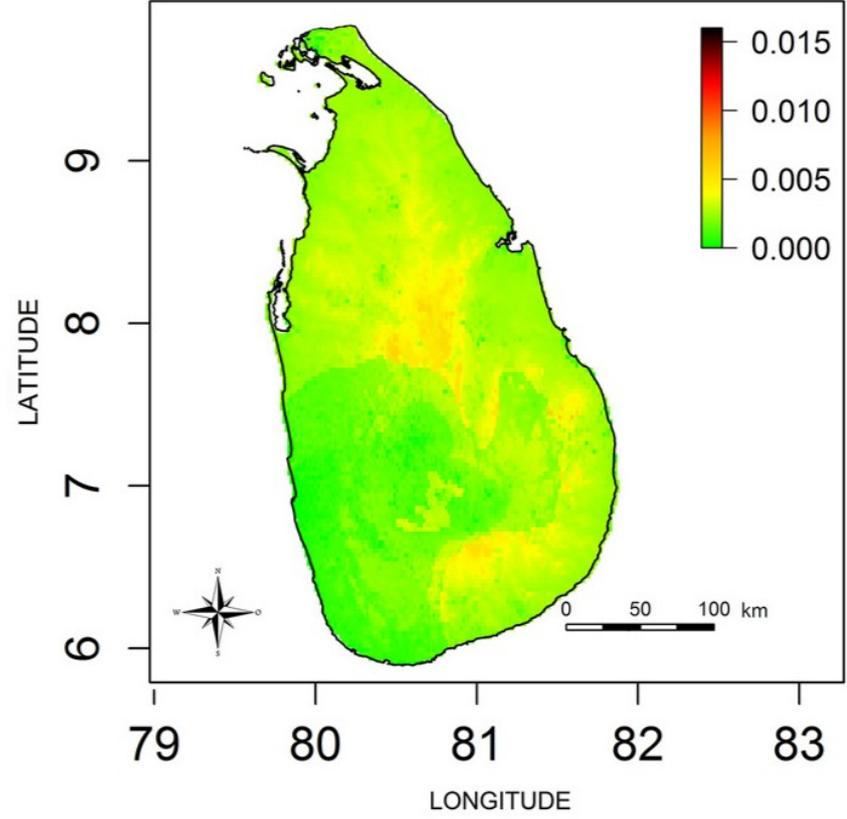
RESEARCH ARTICLE

Mapping the Risk of Snakebite in Sri Lanka - A National Survey with Geospatial Analysis

Dileepa Senajith Ediriweera¹, Anuradhani Kasturiratne², Arunasalam Pathmeswaran², Nipul Kithsiri Gunawardena³, Buddhika Asiri Wijayawickrama⁴, Shaluka Francis Jayamanne⁴, Geoffrey Kennedy Isbister^{5,6}, Andrew Dawson^{6,7}, Emanuele Giorgi⁸, Peter John Diggle⁸, David Griffith Lalloo⁹, Hithanadura Janaka de Silva^{4*}



(A) Snakebite incidence map



(B) Envenoming incidence map

Modelo mecanístico para contactos humano-serpiente

Transmission term	Discrete time form $F(H, S, \theta)$
βHS	$1 - \exp(-\beta S)$
$\beta H^p S^q$	$1 - \exp(-\beta H^{p-1} S^q)$
$\beta H (S - H/q_h)$	$1 - \exp(-\beta (S/H - 1/q_h))$
$\beta S (H - S/q_s)$	$1 - \exp(-\beta S (1 - S/(q_s \cdot H)))$
$\beta HS \cdot \left\{ \frac{S}{1 - \varepsilon + \varepsilon S} \right. / \left. \frac{H}{1 - \varepsilon + \varepsilon H} \right\}$	$1 - \exp \left(-\beta S \cdot \left\{ \frac{S}{H - \varepsilon H + \varepsilon HS} \right. / \left. \frac{1}{1 - \varepsilon + \varepsilon H} \right\} \right)$
$\beta HS \cdot \left\{ \frac{1}{c + S} \right. / \left. \frac{1}{c + H} \right\}$	$1 - \exp \left(-\beta S \cdot \left\{ \frac{1}{cH + SH} \right. / \left. \frac{1}{cH + H^2} \right\} \right)$

Transmisión de enfermedades infecciosas

H = Humanos
S = Serpientes

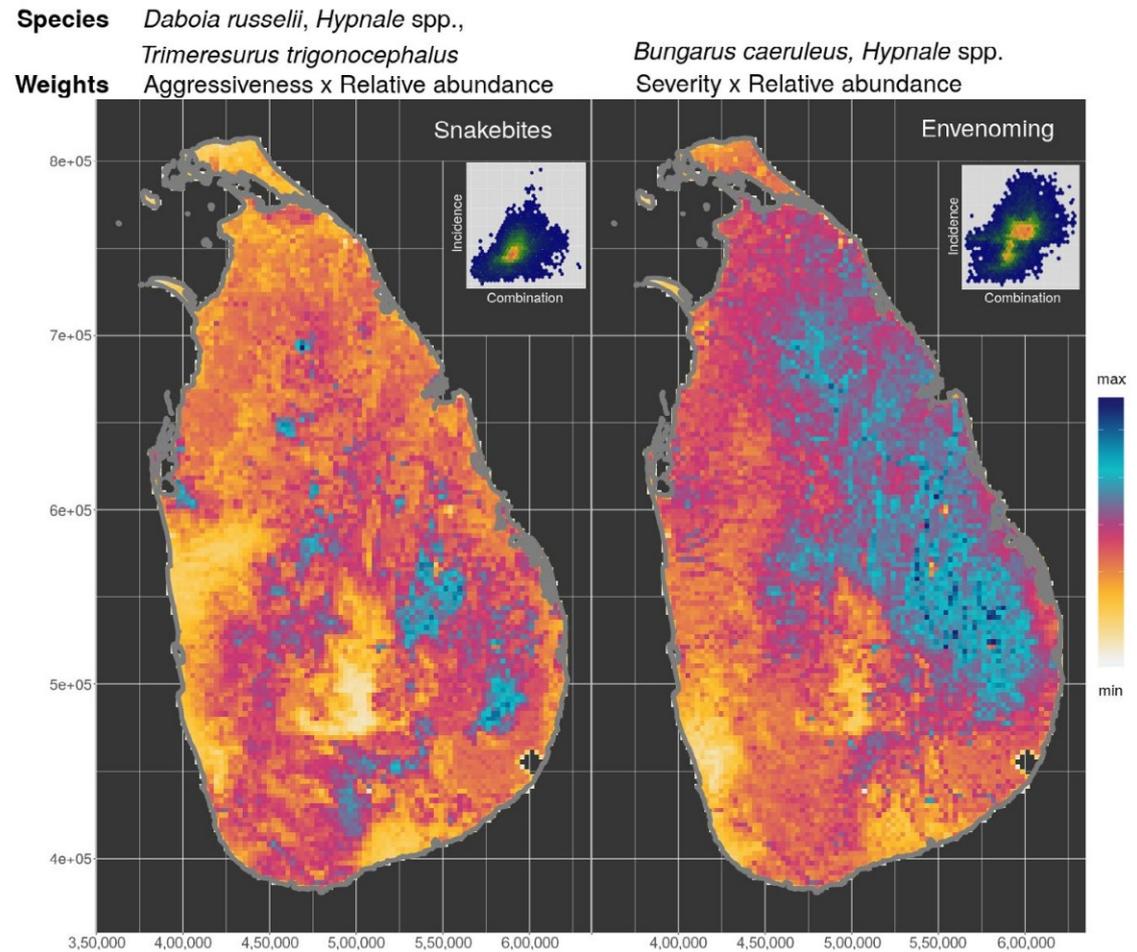
Hipótesis que compiten, representan dinámicas de mezcla humano-serpiente

Abundancia de serpientes: Variación espacial

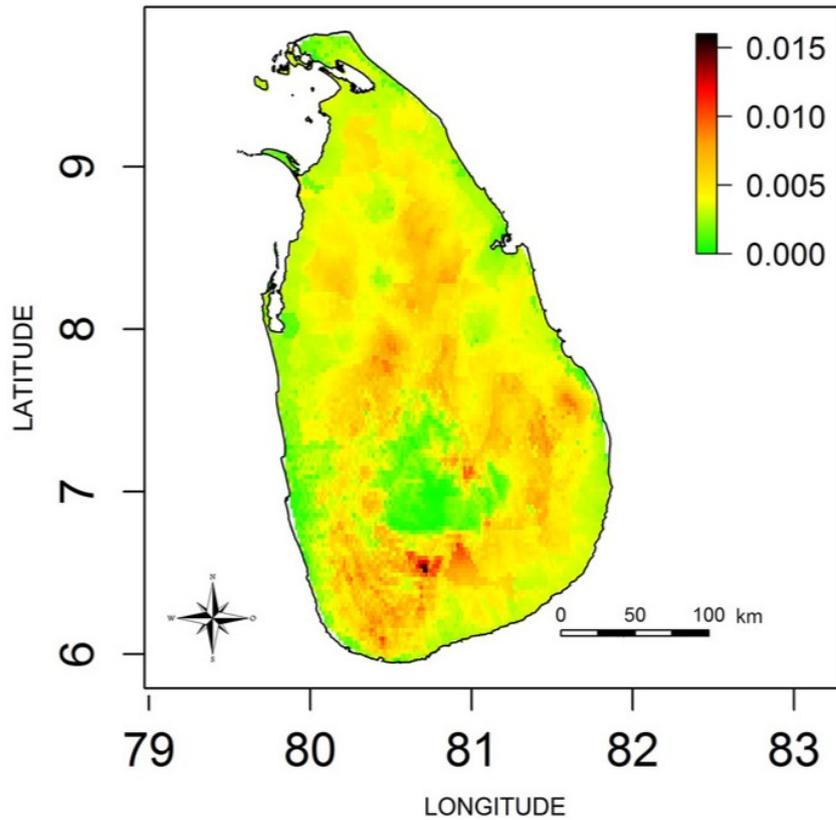


Trimeresurus trigonocephalus

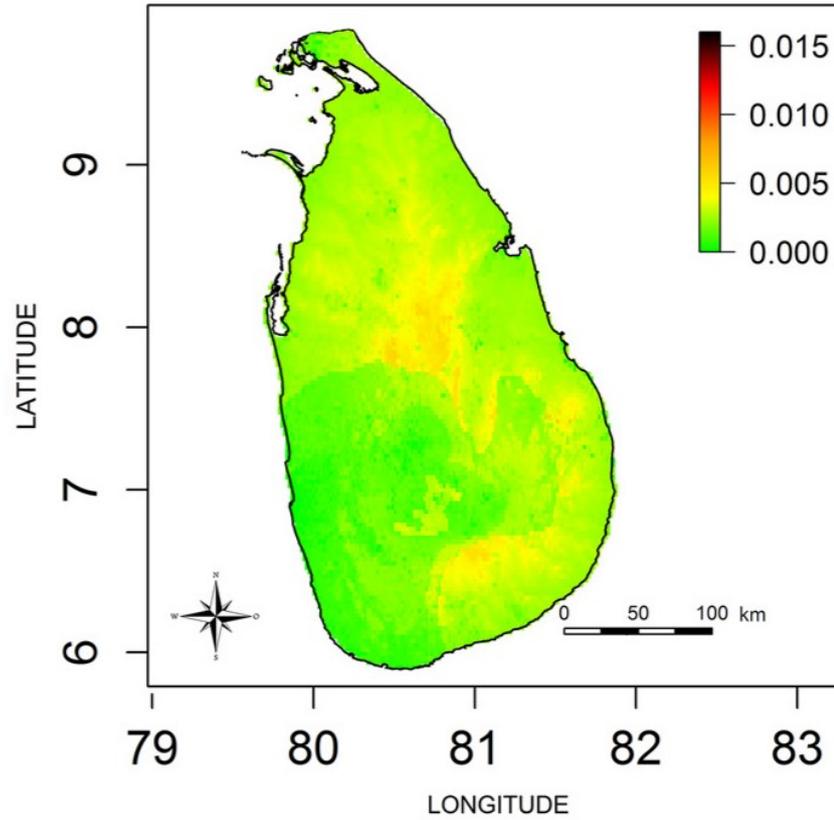
Variación de abundancia estimada a partir de datos geográficos, clima y vegetación (nicho y distribución) explica patrones geográficos de incidencia



Martin et al. 2021. Integrating snake distribution, abundance and expert-derived behavioural traits predicts snakebite risk. *Journal of Applied Ecology*



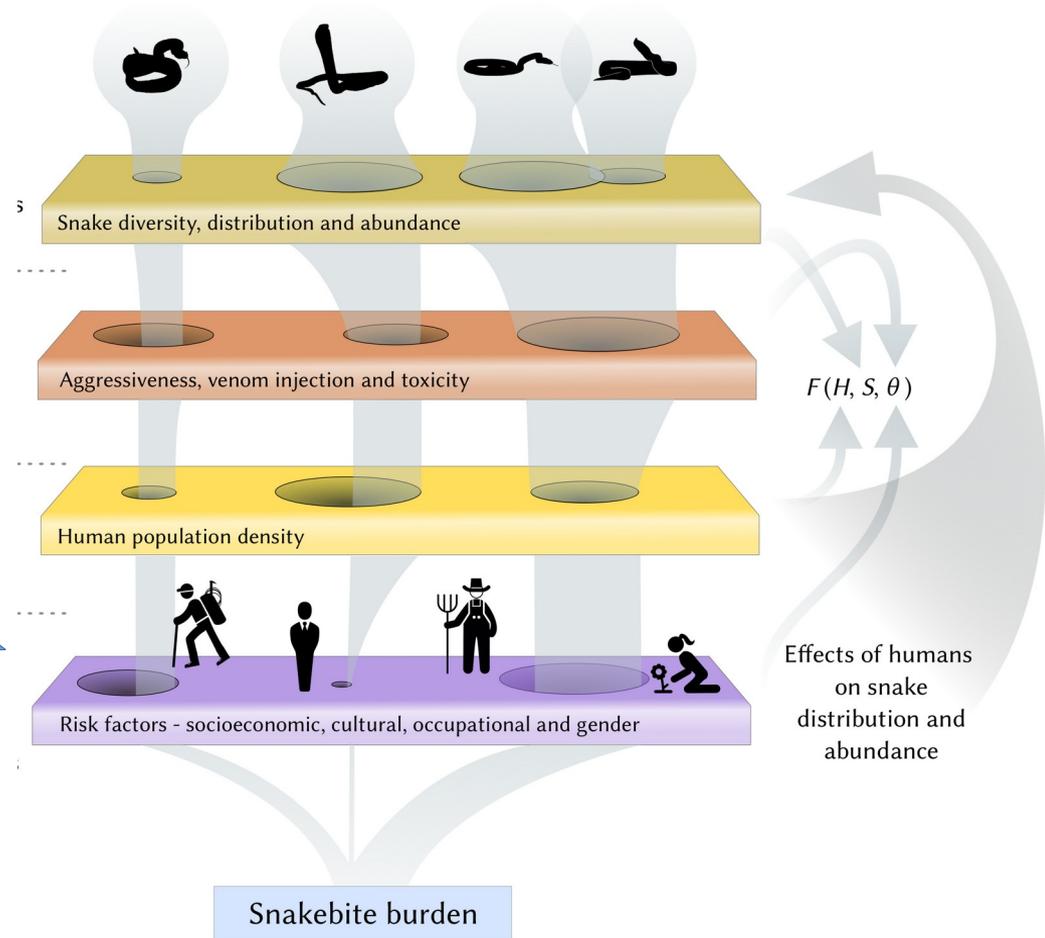
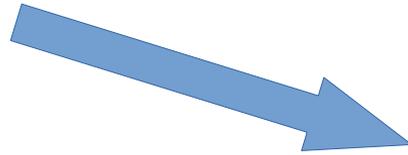
(A) Snakebite incidence map



(B) Envenoming incidence map

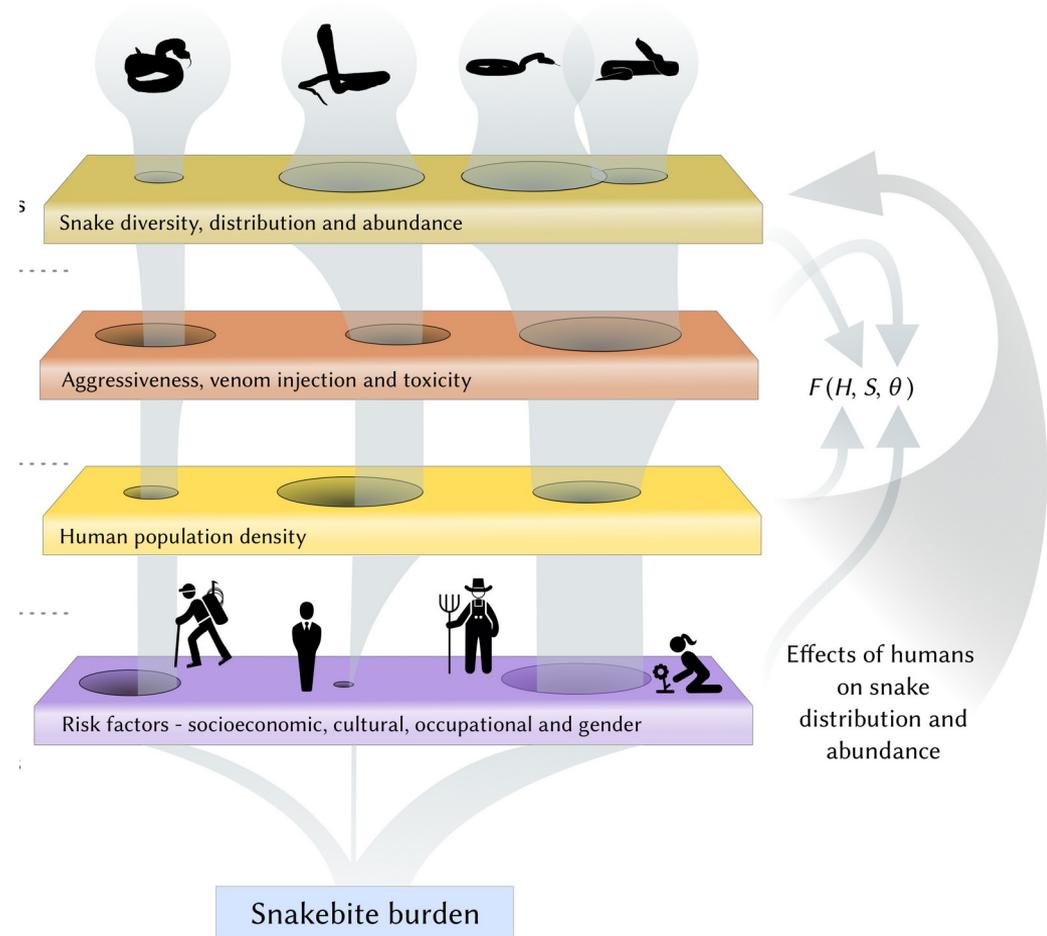
Factores demográficos y socioeconómicos

Cobertura →
ocupación → factor
de riesgo



Factores demográficos y socioeconómicos

- Es dinámico y no lineal, afecta abundancia de serpientes



El modelo de contacto humano-serpiente

$$\frac{H_{env}}{H} = \beta S$$

$$\beta = \beta(B, D, U, A, T) \times P(S)$$

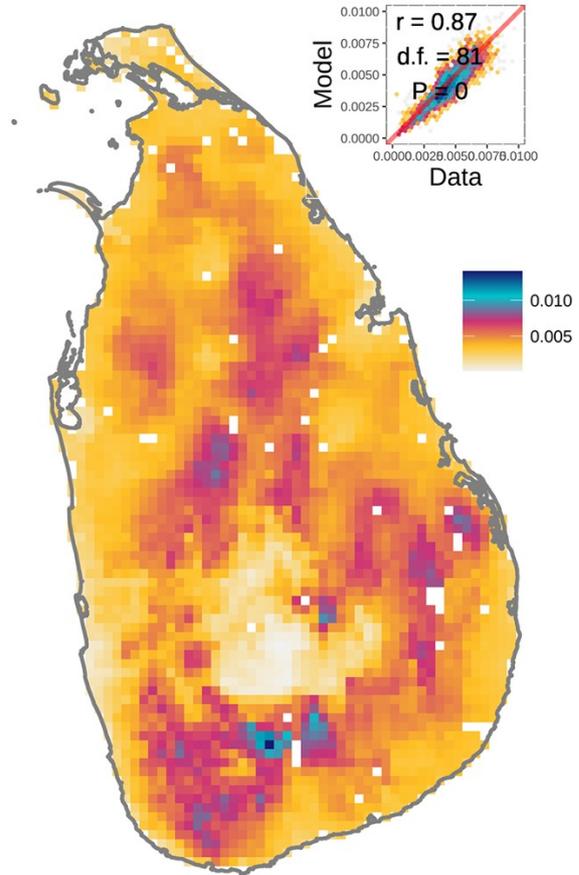
$$\log\left(\frac{P(S)}{1-P(s)}\right) = I \sum S_i$$

Mordedura

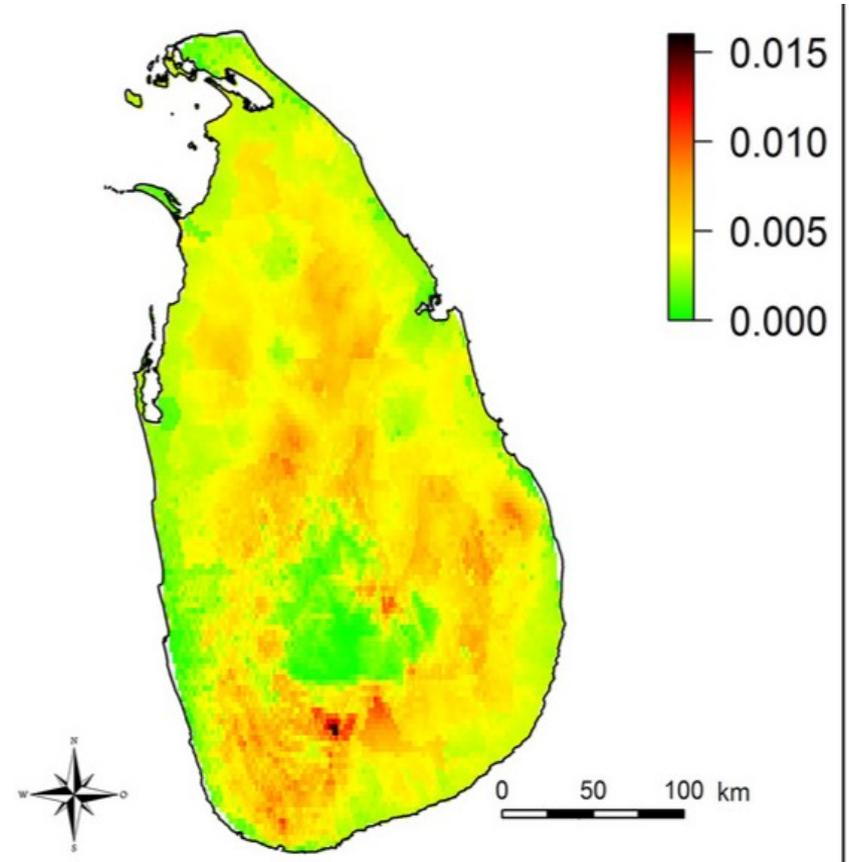
Envenenamiento

Modelo mecanístico con componentes de cambio global

Incidencia de mordeduras

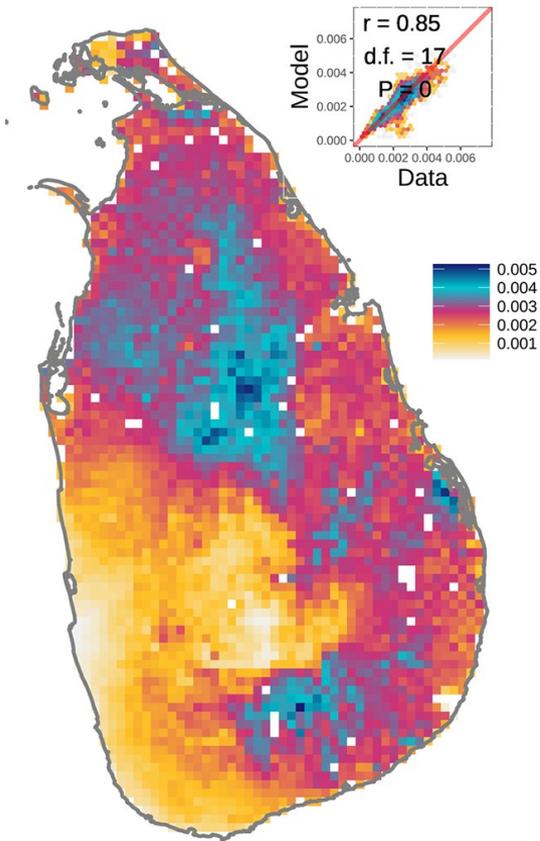


Estimaciones de incidencia

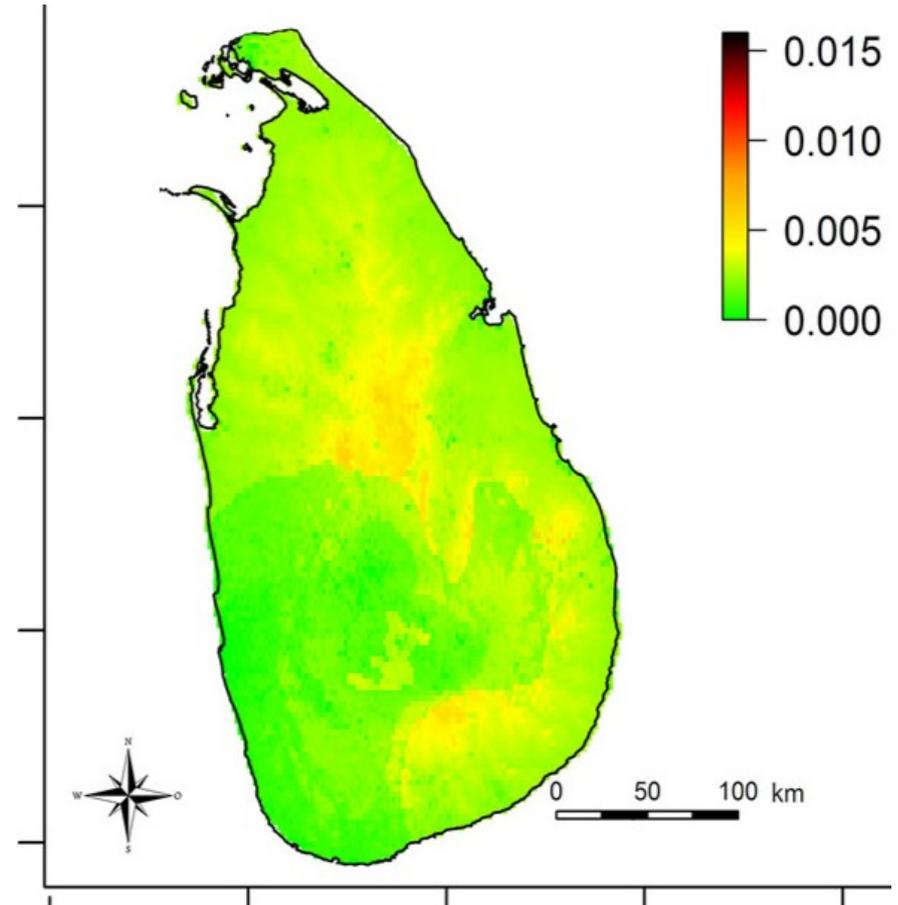


Modelo mecanístico con componentes de cambio global

Incidencia de envenenamientos



Estimaciones de incidencia



Transferencia a escenarios de cambio global

- Rutas de desarrollo compartido
 - Escenarios políticos y económicos para forzar emisiones de carbono y utilización de recursos

Climatic Change (2014) 122:387–400
DOI 10.1007/s10584-013-0905-2

**A new scenario framework for climate change research:
the concept of shared socioeconomic pathways**

**Brian C. O'Neill • Elmar Kriegler • Keywan Riahi • Kristie L. Ebi •
Stephane Hallegatte • Timothy R. Carter • Ritu Mathur • Detlef P. van Vuuren**

Predicciones anuales

- Densidad humana (Jones et al. 2016)
- Cambio de cobertura → DynaClue
- Calentamiento y cambio climático global (CMIP5)
→ Escalamiento estadístico

Escenarios a 2050

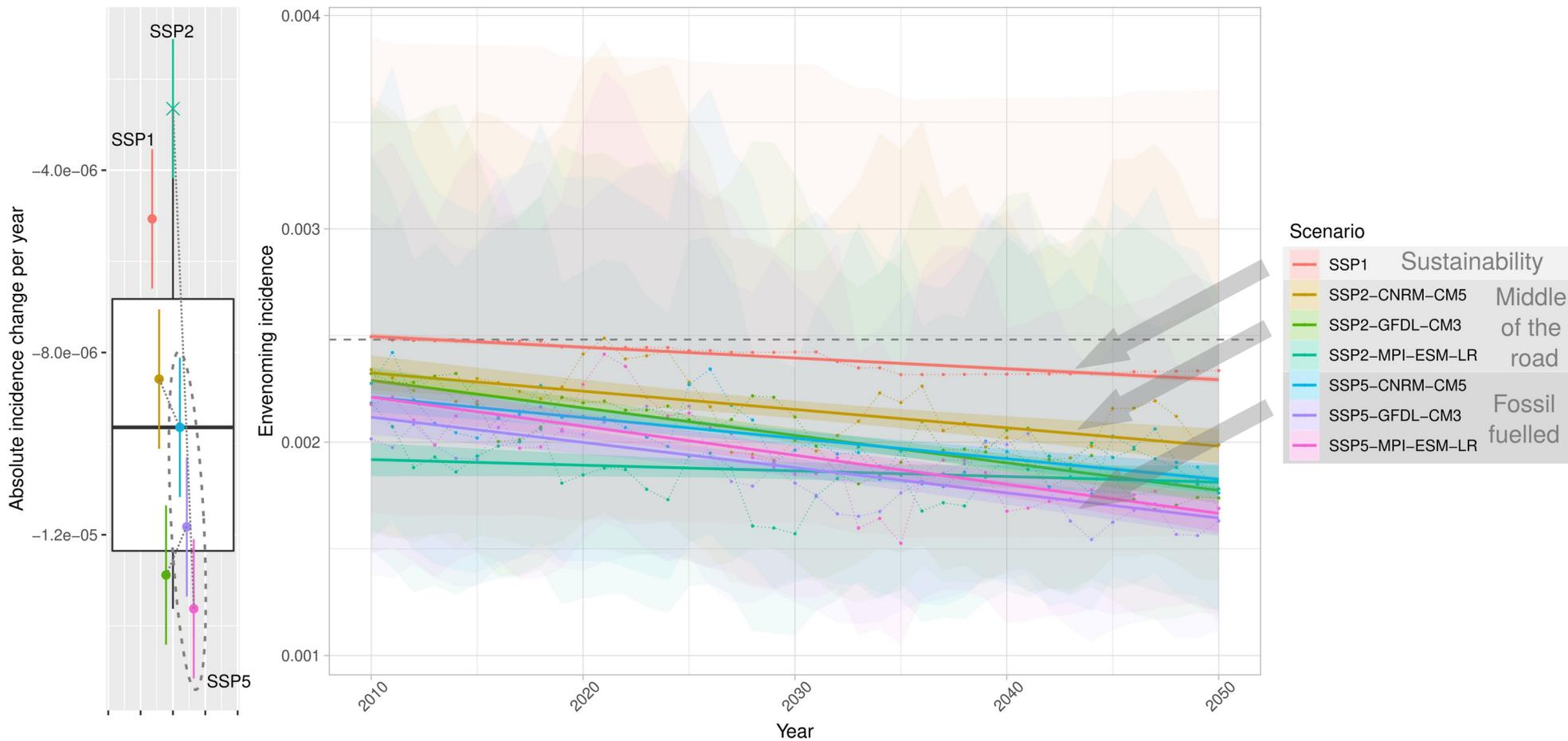
SSP1

SSP2

SSP5

- **Sustentabilidad**
 - Crecimiento moderado, bajas emisiones
- **Intermedio**
 - Crecimiento intermedio, emisiones altas, ecosistemas protegidos
- **Desarrollo basado en combustibles fósiles**
 - Crecimiento algo, emisiones altas, ecosistemas no protegidos

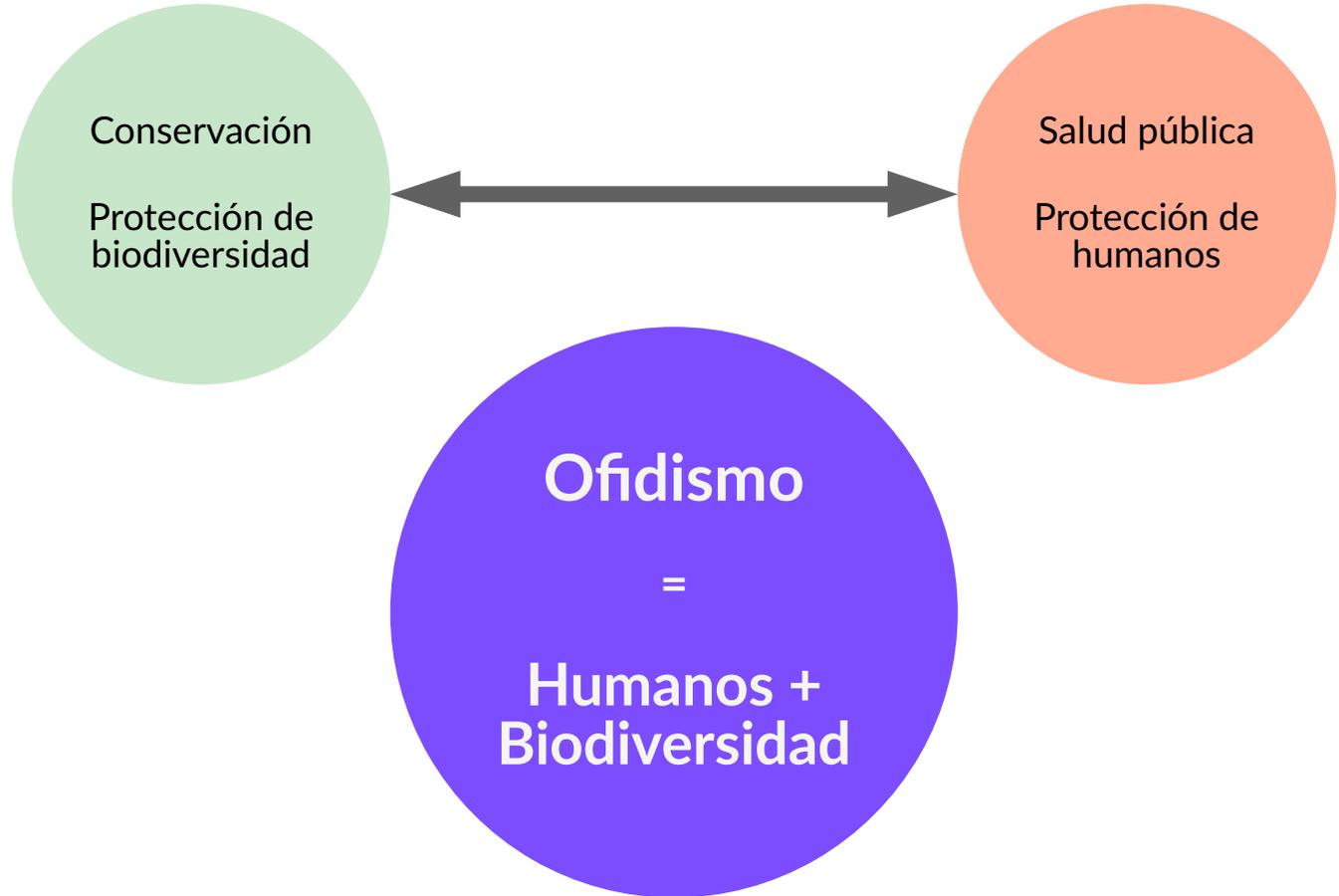
¿Cómo cambiaría la incidencia de ofidismo?



- Menor incidencia en escenarios menos sustentables
- Mayor destrucción de ecosistemas
- Mayor calentamiento → menos abundancia potencial de serpientes

Salud pública + Conservación

Ofidismo
requiere
resolver
contradicciones
fundamentales
por medio de
esfuerzos
conjuntos



Ofidismo: impactos diferidos del cambio global sobre humanos, ¿qué otras aristas hay?

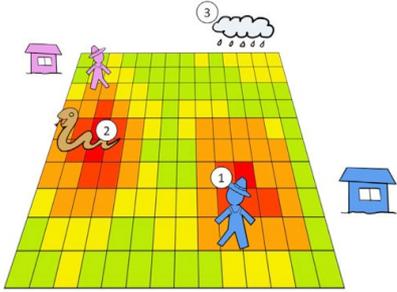
Article

Climate change maladaptation for health:
Agricultural practice against shifting seasonal
rainfall affects snakebite risk for farmers in the
tropics

Goldstein et al. 2023, iScience.

Prácticas agrícolas actuales ligadas al clima

Climas actuales y futuros → nuevas prácticas necesarias para mantener producción



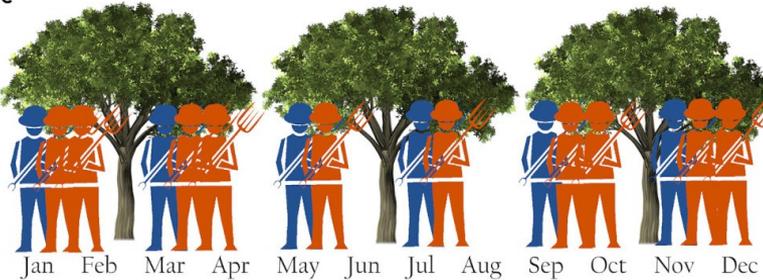
A



B



C



Adaptación agrícola en Sri Lanka:

Arroz: mayor duración de temporada de cosecha

Té: temporada de cosecha de igual duración pero con mayor concentración de mano de obra en menor tiempo

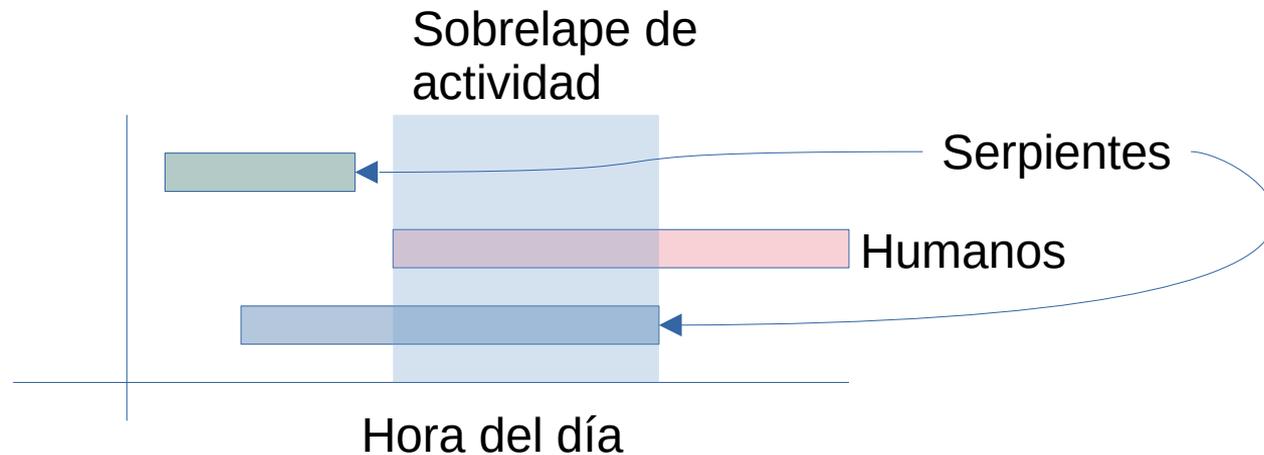
Hule: cambios de los horarios y frecuencia de cosecha

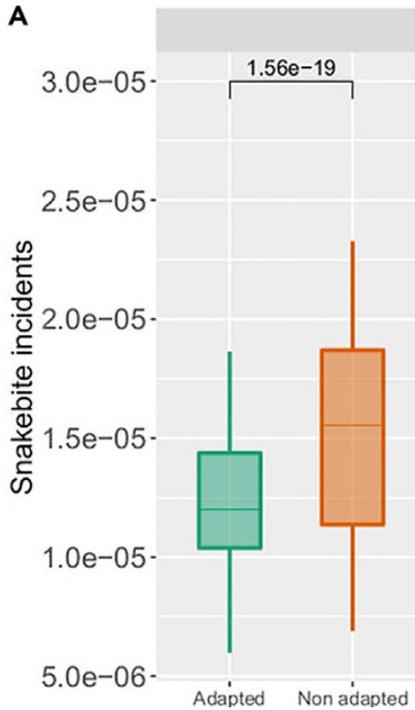
Integrating human behavior and snake ecology with agent-based models to predict snakebite in high risk landscapes

Existen horarios específicos de actividad:

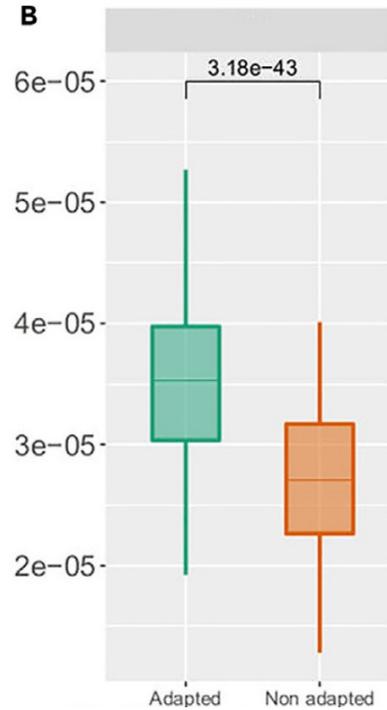
Goldstein et al. 2021, Plos NTD.

Campesinos y serpientes

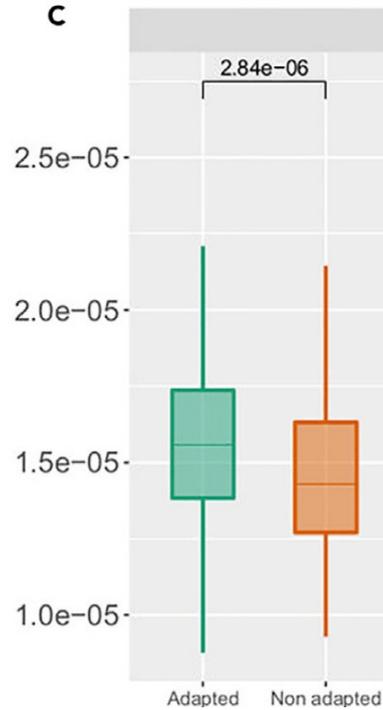




A) Arroz:
Adaptación
disminuye riesgo



B) Hule:
Adaptación
incrementa
riesgo



C) Té:
Adaptación
aumenta riesgo
ligeramente

Adapted:
adopción de
prácticas
agrícolas para
nuevo régimen
climático

Resumen

- CG → Altera distribuciones y abundancia
- Antropoceno → existen aristas que benefician, en el corto plazo al humano
- CG, sustentabilidad → Mayor interacción entre conservación y salud pública
- CC → Efectos inadvertidos sobre salud por medidas de adaptación, que dependen de biología de spp.

