

# Rabia en zorros

---

Laurie Baker<sup>1</sup>, Elias Krainski<sup>2</sup>, Håvard Rue<sup>3</sup>, Conrad Freuling<sup>4</sup>, Thomas Müller<sup>4</sup>,  
Micaela De La Puente León<sup>5</sup>, Jason Mathiopoulos<sup>1</sup> and Katie Hampson<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Glasgow, <sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná, <sup>3</sup>King Abdullah University of Science and Technology, <sup>4</sup>Friedrich Loeffler Institute, <sup>5</sup> Universidad Peruana Cayetano Heredia

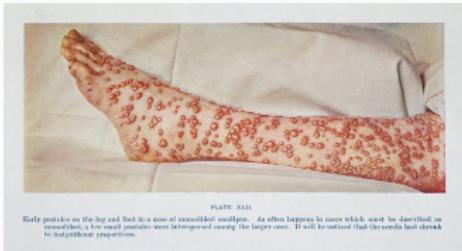
# Antecedentes

- Rabia en zorros
- Introducción a los métodos
- Resultados preliminares

# Persistencia y control de las enfermedades

## Viruela y peste bovina

- Solo dos enfermedades se han eliminado globalmente.



<https://wellcomecollection.org/works/hbkrsz8r> CC-BY-4.0; <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rinderpest-1896-CN.jpg>

- Vacunación puede reducir las enfermedades pero sabemos poco sobre **donde** y por **cuánto tiempo** las programmas de control deben operar para eliminar una enfermedad.

# La rabia

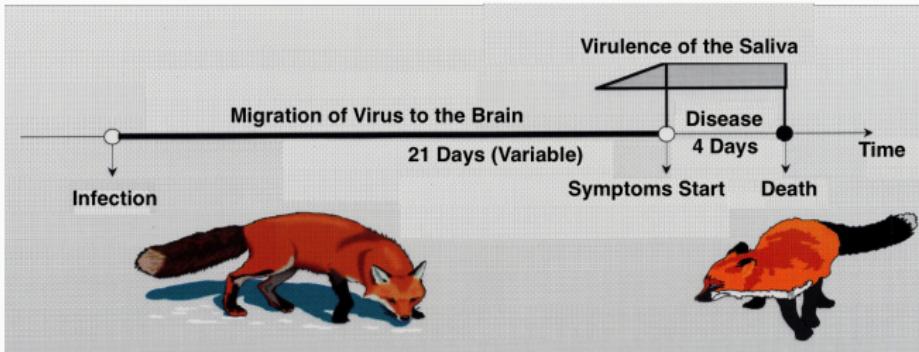
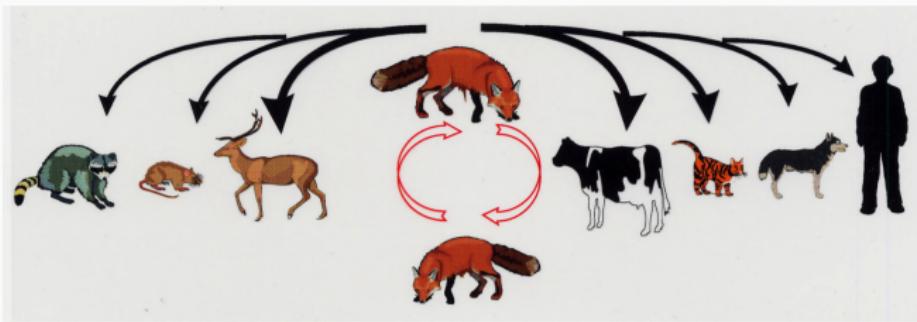
## La rabia

- Casi 100% letal sin vacunación. Todavía mata >59,000 personas cada año.
- Un virus ARN del genero Lyssavirus.
- Causa encefalitis en un gran rango de mamíferos.
- Reservorios del virus incluye los ordenes *Carnivora* y *Chiroptera*.



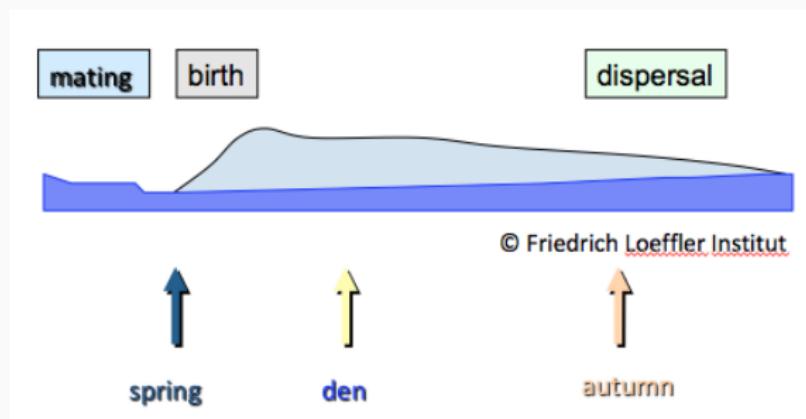
# Rabies Cycle

En Europa el principal reservorio es el zorro rojo, *Vulpes vulpes*.



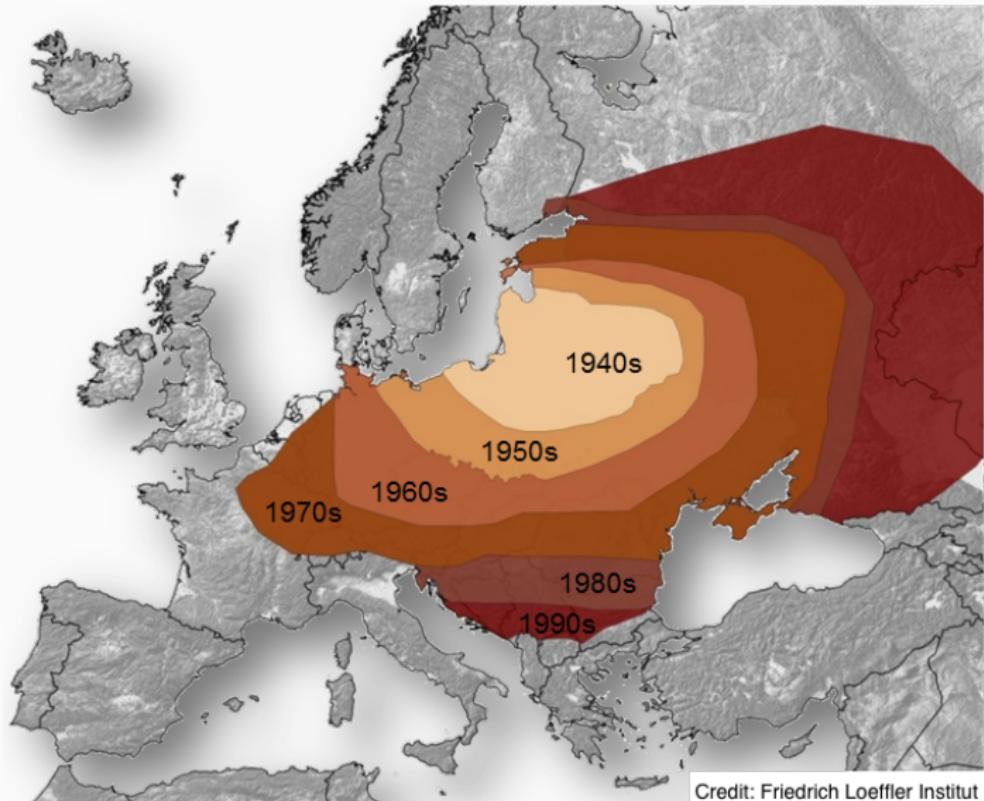
# Los zorros

1. Es el carnívoro terrestre más ampliamente distribuido.
2. Territoriales, dividen el terreno en parcelas.
3. Tienen un ciclo estacional muy marcado
  - Apareamiento, reproducción, dispersión, restablecimiento, apareamiento.



4. Un pico reproductivo muy marcado, cuando la población se duplica.

# Epidemia de rabia en zorros



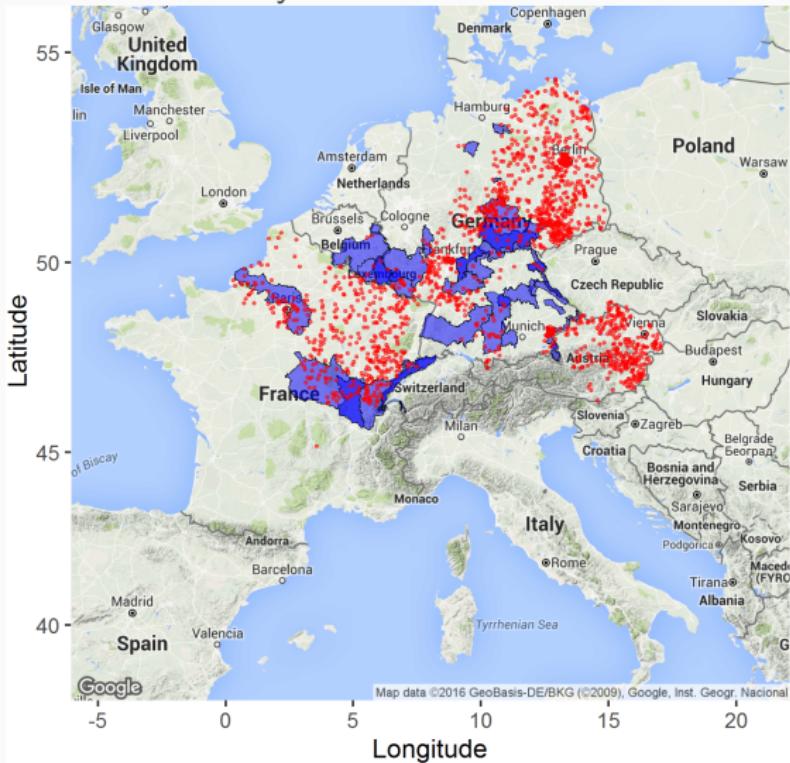
# Vacunación oral de rabia

En 1978 desarrollaron una vacuna oral.



# Eliminación de rabia en los zorros

Después de tres décadas y 2.36 millones de kilómetros cuadrados.



La rabia fue eliminado en 9 países del oeste de Europa.

## Temas

1. Como persisten las enfermedades infecciosas?
2. Cuál es la dinámica de la distribución de rabia localmente?
3. Cómo podemos optimizar la vacunación para eliminar infección?

# Métodos

## Qué podemos usar para estudiar el movimiento de la rabia?

- Muchos procesos (migración, distribución de enfermedades) están vinculados con espacio y tiempo



Migración de Wildebeest<sup>1</sup> y la rabia

- Son medidos a través de puntos georeferenciados en el tiempo.
- Con el "non-separable stochastic partial differential equation (SPDE)", podemos analizar estos procesos al mismo tiempo

<sup>1</sup>

Daniel Rosengren [CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)]

# Antecedentes de los datos

## Los datos

- Puntos GPS de casos de rabia en Alemania oriental (1982-2006).
- Fechas y lugares donde fueron vacunados.



- **Pasiva:** Atropellados, síntomas de rabia, mordeduras; **Activa:** caza.
- No estaba siendo monitoreada adecuadamente (e.g. la densidad de zorros, la cobertura de vacunación, y la variación en la detección).

# Objetivos

---

## Objetivos

- Hacer un modelo de las dinámicas locales de la rabia usando el modelo SPDE en R-INLA.
- Estimar el correlación espacial de los casos de la rabia.

## Análisis en tres pasos

1. Estimar la densidad de infectados en la zona.
2. Simular estocasticamente la densidad de la población de susceptibles.
3. Combinar las densidades de 1 y 2 para desarollar un modelo GLM para estimar los parametros de transmisión.

# 1. Estimando la densidad de infectados en la zona

We modeled the infected individuals  $\widehat{I}$ , using a log-Gaussian Cox space-time point process:

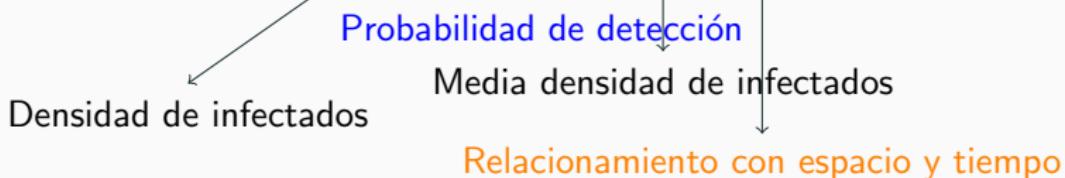
$$\pi(\widehat{I}|\lambda) = \prod_i \lambda(s_i, t_i) \exp(-|\Omega||L| - \int_{\Omega, L} \lambda(s, t) \partial s \partial t) \quad (1)$$

Casos de rabia                                      Densidad de infectados  
Alemania oriental, 120 meses

# 1. Estimando la densidad de infectados en la zona

We model the intensity function  $\lambda(s, t)$  as

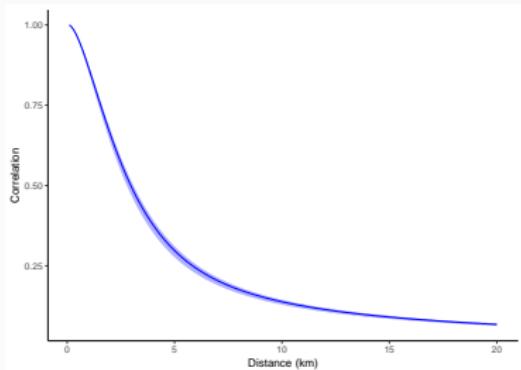
$$\log(\boxed{\lambda(s, t)}) = \log(\theta) + \beta_0 + d(s, t) \quad (2)$$



## Resultados: Estimando la densidad de infectados en la zona

- Puntos negros = casos observados de rabia.
- **Rojo:** alta incidencia;  
**Azul/Gris:** baja incidencia.
- Identifica donde se necesita la vacunación y las zonas en alto riesgo.

## Resultados: Estimando la densidad de infectados en la zona

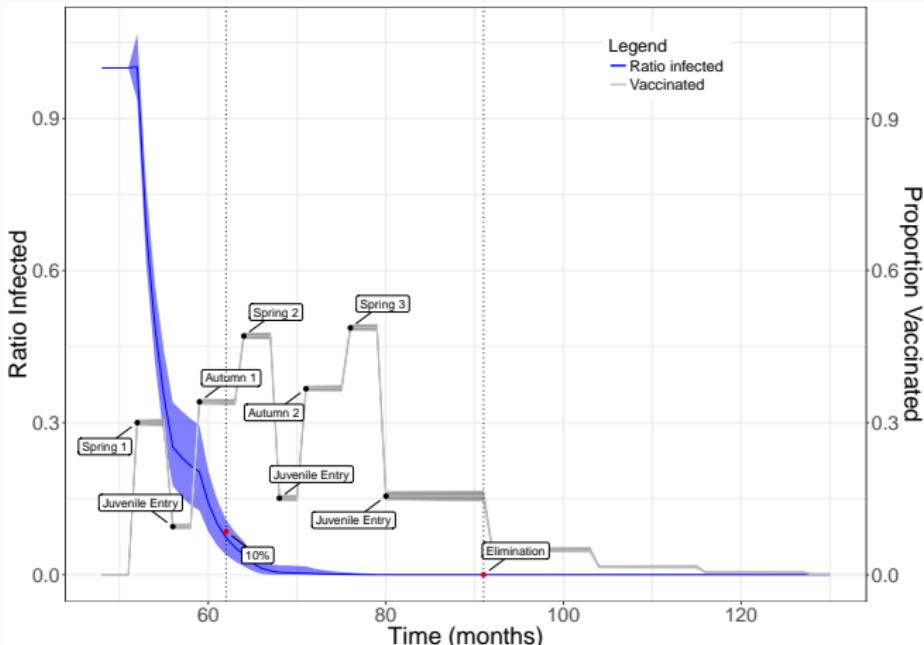


La mayoría de los casos están a 5 km de otro. **Están mordendo a los vecinos!**

## 2. Simulando cambios en la población de su susceptibles

La población cambia con: ↑ nacimiento; ↓ mortalidad; ↓ vacunación

$$S_{r,t} = \alpha_t(1 - v_{r,t}) \quad (3)$$



$$S_{r,t} = \text{susceptibles}, \alpha_t = \text{nacimiento/mortalidad}, v_{r,t} = \% \text{ vacunado}.$$

\*Baker LL, Matthiopoulos J, Müller T, Freuling C, Hampson K (2019). Optimising spatial and seasonal deployment of vaccination campaigns to eliminate wildlife rabies. Philosophical Transactions B. In Press.

# Simulando cambios en la población: cobertura de vacunación con el tiempo

- 30% de cobertura en las campañas de vacunación.
- Cuando se duplica la población disminuye la cobertura.
- En general, todos las zonas están en constante comunicación para realizar las campañas de vacunación al mismo tiempo.

### 3. Construcción de modelo lineal generalizado

---

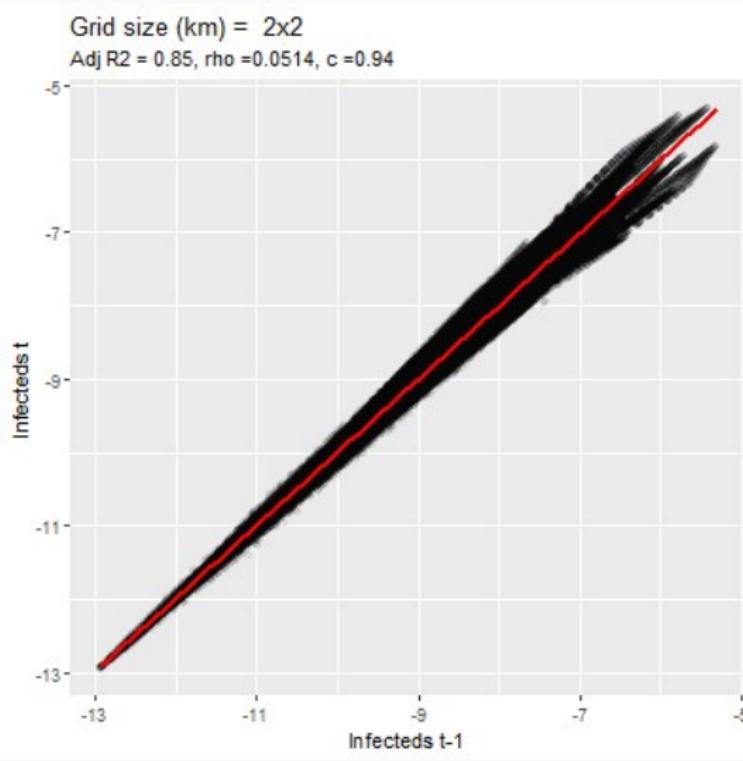
$$I_{r,t} = \rho S_{r,t-1} I_{r,t-1}^c \quad (4)$$

$I$  = Infectados,  $S$  = Susceptibles,  $\rho$  = tasa de transmisión,  $c$  = probabilidad de encuentros entre poblaciones.

$$\log(I_{r,t}) = \log(\rho) + \log(S_{r,t-1}) + c \log(I_{r,t-1}) + \epsilon \quad (5)$$

# Resultados de modelo lineal generalizado

Tasa de transmisión = 0.0514; Probabilidad de encuentros entre poblaciones = 0.94



# Conclusiones

---

## Conclusiones

- El modelo espacio-temporal es útil para identificar las áreas con alta prevalencia.

# Conclusiones

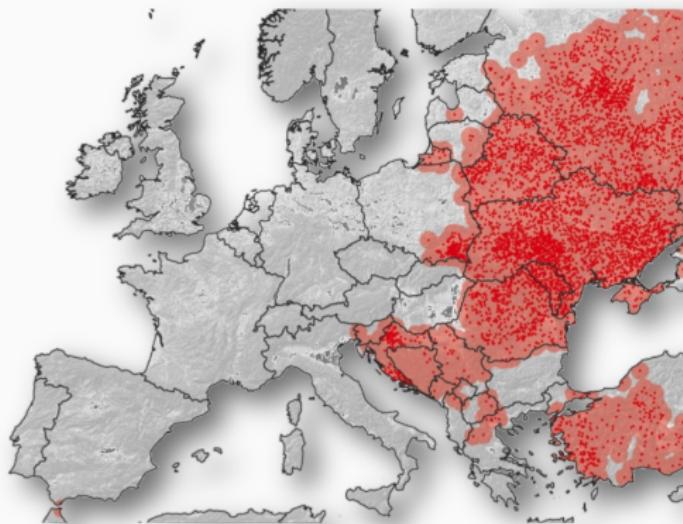
---

## Conclusiones

- El modelo espacio-temporal es útil para identificar las áreas con alta prevalencia.
- La mayoría de los casos están a 5 km de otro. Con un correlación que se reduce gradualmente hasta al alcanzar los 20km de distancia.

# Planificando futuras estrategias de vacunación

La rabia aún presente en Europa oriental → todavía necesitamos mejorar los planes de vacunación.

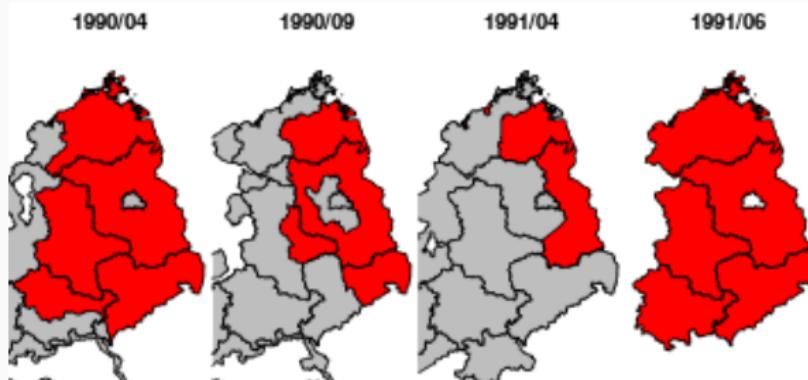


Dónde deberíamos llevar a cabo las campañas de vacunación para incrementar la probabilidad de eliminación?

# Future Directions

## Próximos pasos

- Estimando la dinámica espacio-temporal de rabia podemos utilizar el modelo para
  - Simular la distribución de la rabia bajo diferentes escenarios.
  - Explorar diferentes programas de control.



# Agradecimientos



Katie Hampson & Jason Matthiopoulos; Thomas Müller & Conrad Freuling  
(University of Glasgow) (Friedrich Loeffler Institut)



Håvard Rue, Micaela De La Puente León & Elias Krainski  
(KAUST) (Universidad Peruana Cayetano Heredia) (UFPR-Brasil)

Muchas Gracias!

