UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

Plum: más que solo fechado.

Aquino-López, Marco A. [1]

[1] Department of Geography, University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom

20 January 2025

Plum

Plum

- es un modelo bayesiano para el análisis de datos de ^{210}Pb
- separa el decaimiento del ^{210}Pb y el modelo de edad
- usa el modelo de edad Bacon para la estimación de la función edad-profundidad
- permite la incorporación de información (otros fechamientos) de manera natural.

rPlum:Implementación de *Plum* en R

rPlum

- es un paquete en R para que implementación del modelo *Plum*.
- instalación
- uso con datos de ^{210}Pb (y ^{226}Ra).
- incorporación de otros métodos de fechado
- rangos de sedimentación

Modelo *CRS*

Este modelo asume una tasa constante de suministro de ^{210}Pb al sedimento.
Y usa la función de decaimiento para inferir la edad de manera directa.
Como resultado, se tiene una función de edad profundidad logarítmica:

$$t(x) = \frac{1}{\lambda} \log \left(\frac{A_0}{A_x} \right)$$

Appleby & Oldfield (1979); Robbins (1979)

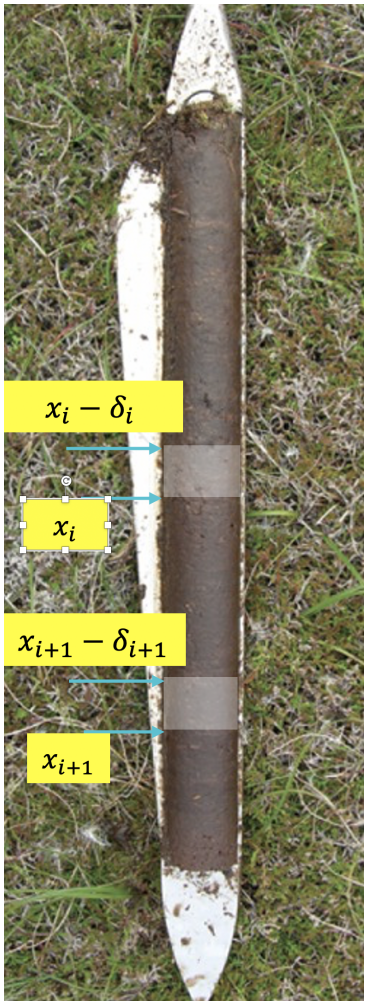
Modelo *Plum*

Por otro lado, *Plum* usa inferencia estadística para inferir el modelo de edad.
Primero se define estadísticamente una muestra de ^{210}Pb de la siguiente forma:

$$y_i \sim \mathcal{N}\left(\mu_i^s + \mu_i^u, \sigma_i\right)$$

Sea μ_i^s el nivel "verdadero" ^{210}Pb soportado y μ_i^u el no soportado (exceso) en una muestra y_i.
Si asumimos un flujo constante de ^{210}Pb (Φ_i) en muestra y_i,

$$\mu_i^u = \frac{\Phi_i}{\lambda}\left(e^{-\lambda t(x_i-\delta)} - e^{-\lambda t(x_i)}\right)$$



Modelo de edad

Modelo de edad *Bacon*

$$
\begin{aligned}
G(d, m) &= \sum_{j=1}^{i} m_j \Delta c + m_{i+1}(d - c_i), \\
m_j &= \omega m_{j+1} + (1 - \omega)\alpha_j
\end{aligned}
$$

Animación provista por Dr. Blaauw

Modelo *Plum*

Con esto se puede definir la verosimilitud de manera adecuada.

Verosimilitud de *Plum*

$$y_i \mid P_i^S, \Phi_i, \bar{t} \sim \mathcal{N}\left(\mu_i^s + \frac{\Phi_i}{\lambda}\left(e^{-\lambda G(x_i-\delta_i)} - e^{-\lambda G(x_i)}\right), (\sigma_i \rho_i)^2\right)$$

$$\ell(Y \mid P_i^S, \Phi_i, \bar{t}) \propto -\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(y_i - \left(A_i^S + \frac{\Phi_i}{\lambda}\left(e^{-\lambda G(x_{i-1},m)} - e^{-\lambda G(x_i,m)}\right)\right)\right)^2}{2\sigma_i^2} - \sum_{j=1}^{n_s} \frac{(y_j^S - P^S)}{2\sigma_j^2}$$

Distribuciones a priori

Distribuciones

- Actividad soportada:

$$\mu_i^s \propto \text{Gamma}(2, 1/10)$$

- Flujo de ^{210}Pb al sedimento:

$$\Phi \propto \text{Gamma}(2, 1/25)$$

- Tasa de acumulación:

$$\alpha_i \propto \text{Gamma}(1.5, 1.5/10)$$

Memoria:

$$\omega_i \propto \text{Beta}(5, 5)$$

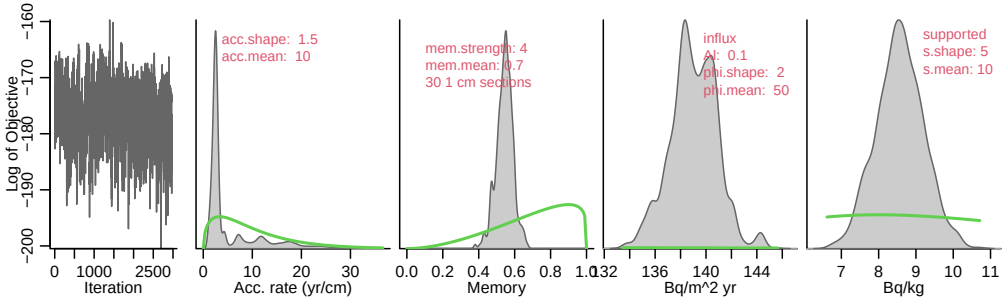
nota:

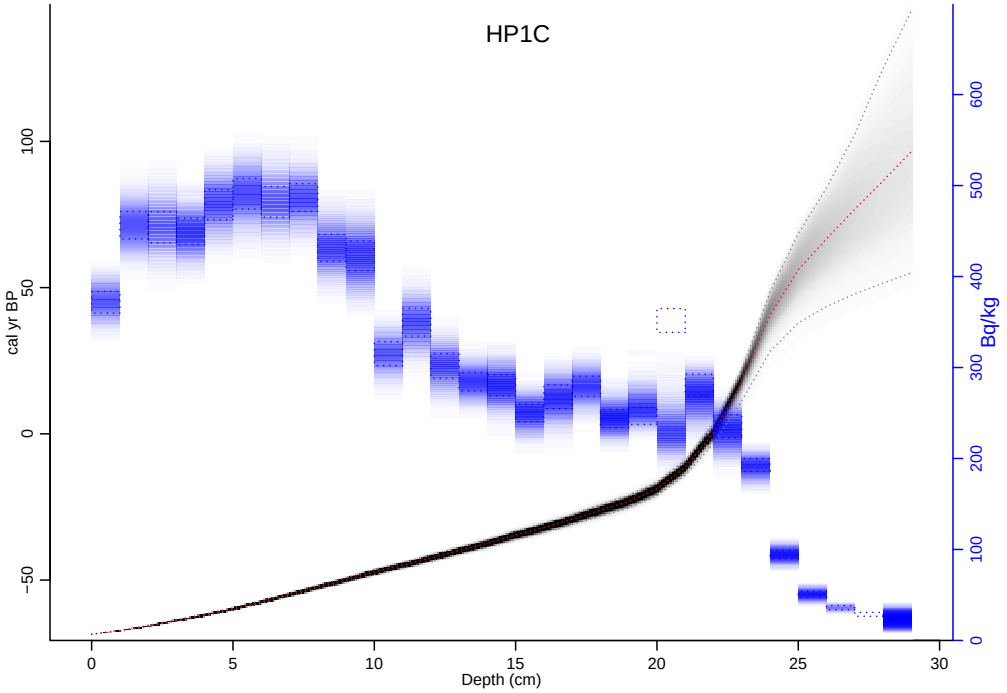
En el caso del flujo de ^{210}Pb, para facilitar los cálculos y reducir los tiempos de cómputo, se asume que es constante en toda la cronología.

Plum

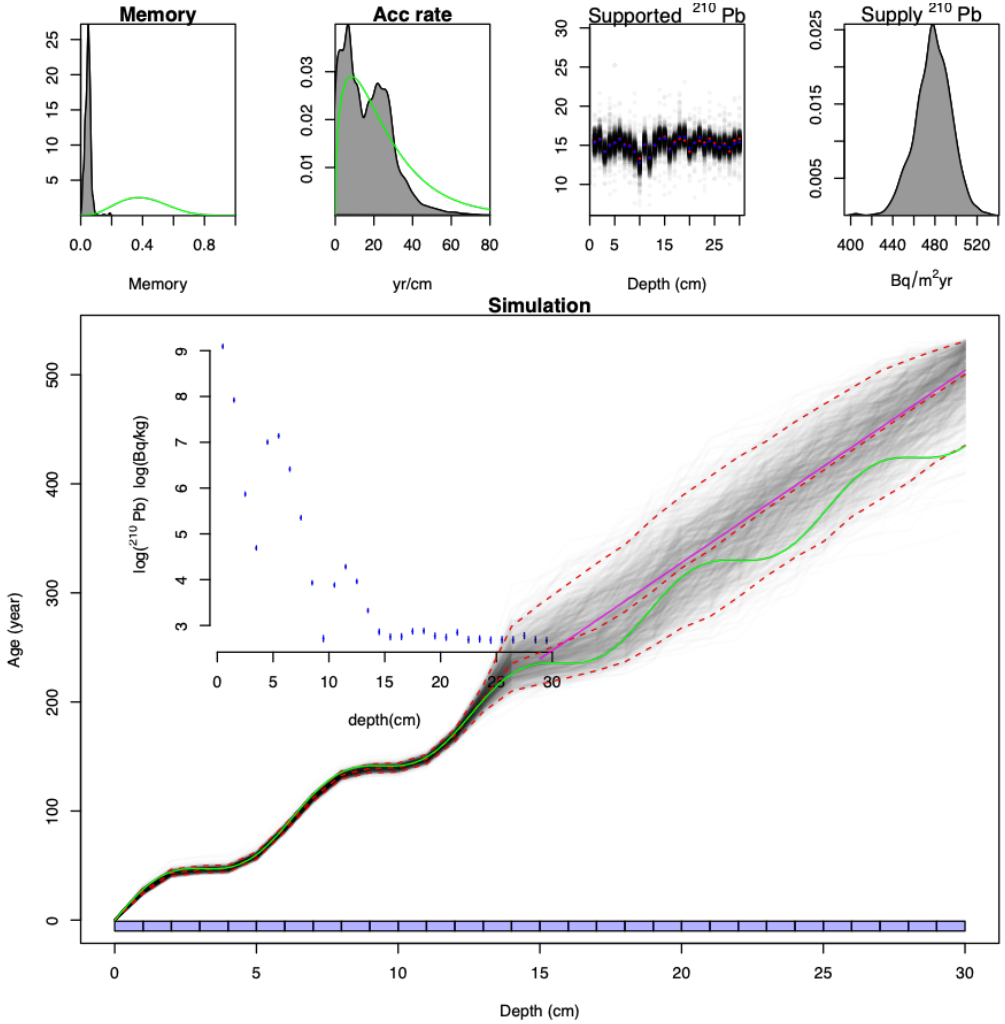
La estructura de este modelo es compleja así que se hace uso de Markov Chain Monte Carlo.

Plum's output





Aprendizaje (limite de edad)



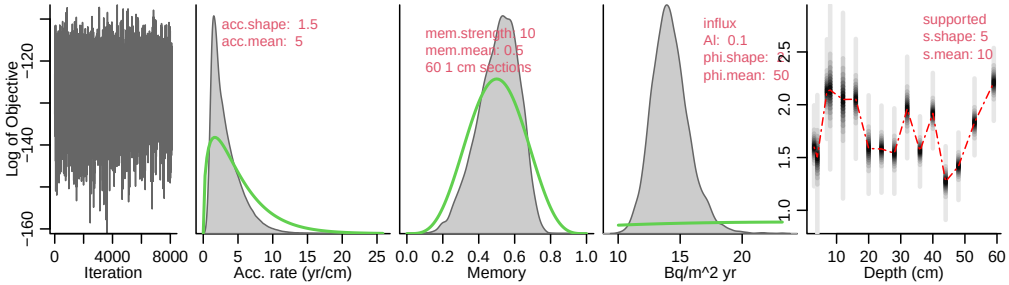
Otros fechamientos

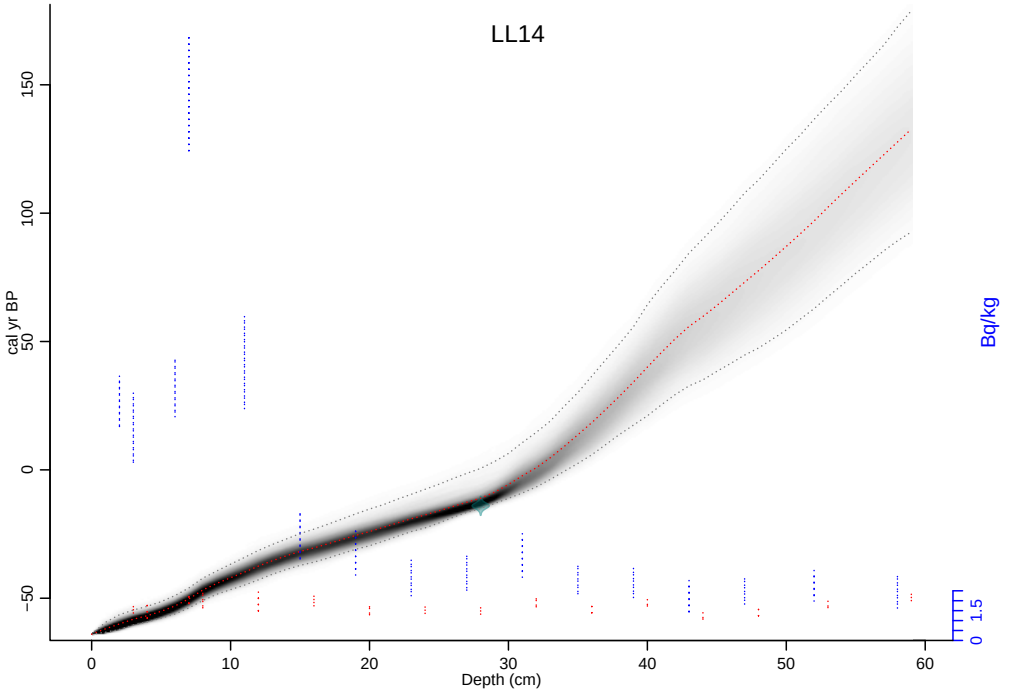
^{137}Cs

En el caso de ^{137}Cs, la incorporación de esta información se hace a través de la función de verosimilitud.

$$\mathcal{L}(\Theta) = \mathcal{L}_{^{210}Pb}(\Theta)\,\mathcal{L}_{^{137}Cs}(\Theta)\,. \tag{1}$$

Otros fechamientos



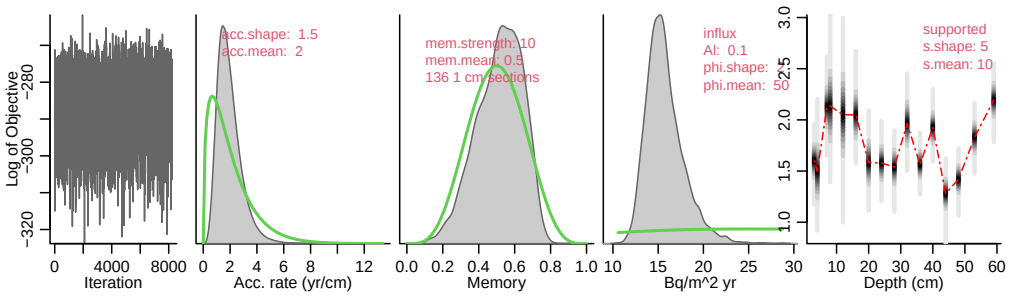


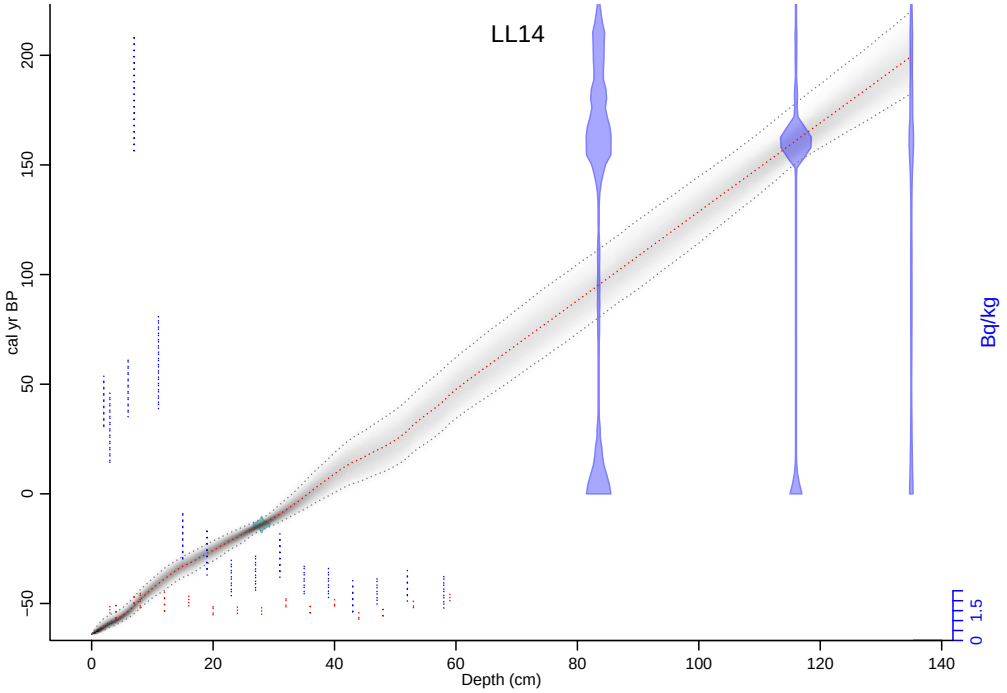
otros fechamientos

^{14}C

$$\mathcal{L}(\Theta) = \mathcal{L}_{^{210}Pb}(\Theta)\,\mathcal{L}_{^{14}C}(\Theta)\,\mathcal{L}_{^{137}Cs}(\Theta)\,. \tag{2}$$

Otros fechamientos





Comparación

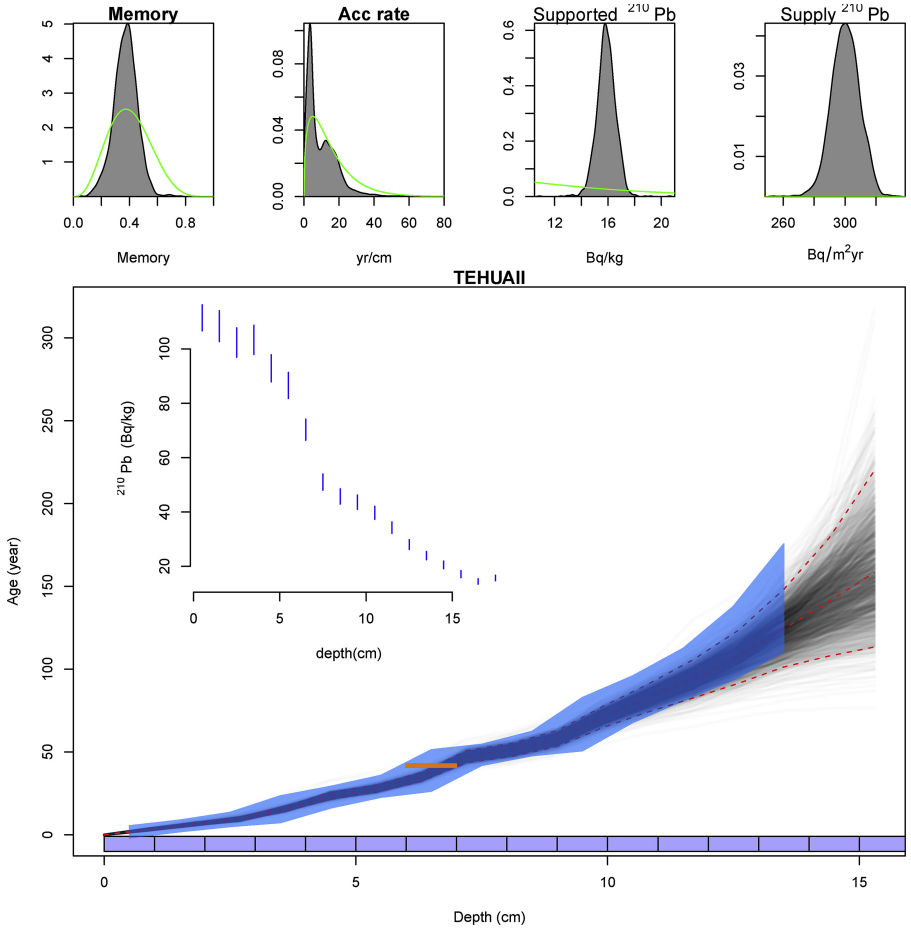


Figure: Aquino-López et al, (2022)

Plum's output

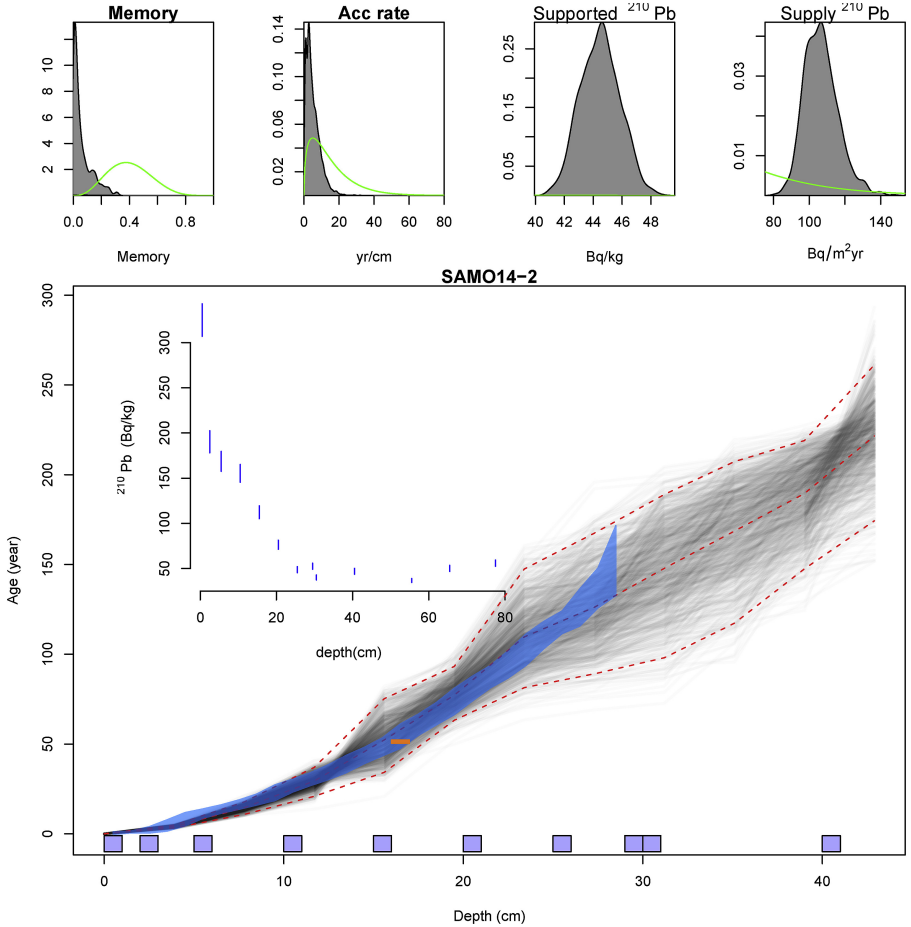


Figure: Aquino-López et al, (2022)

Plum's comparison

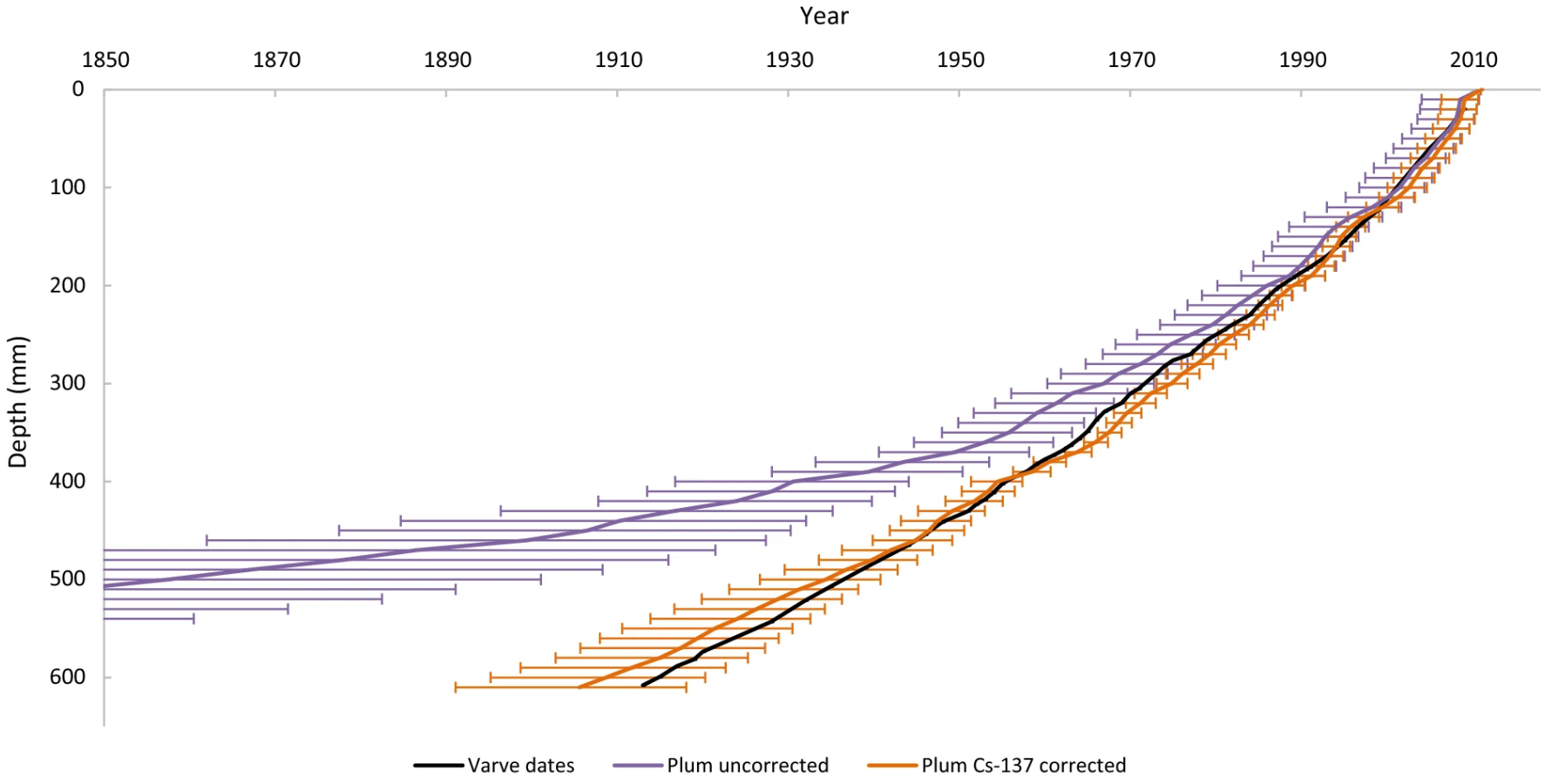


Figure: Hunter et al, (2023)

Usar toda la distribución?

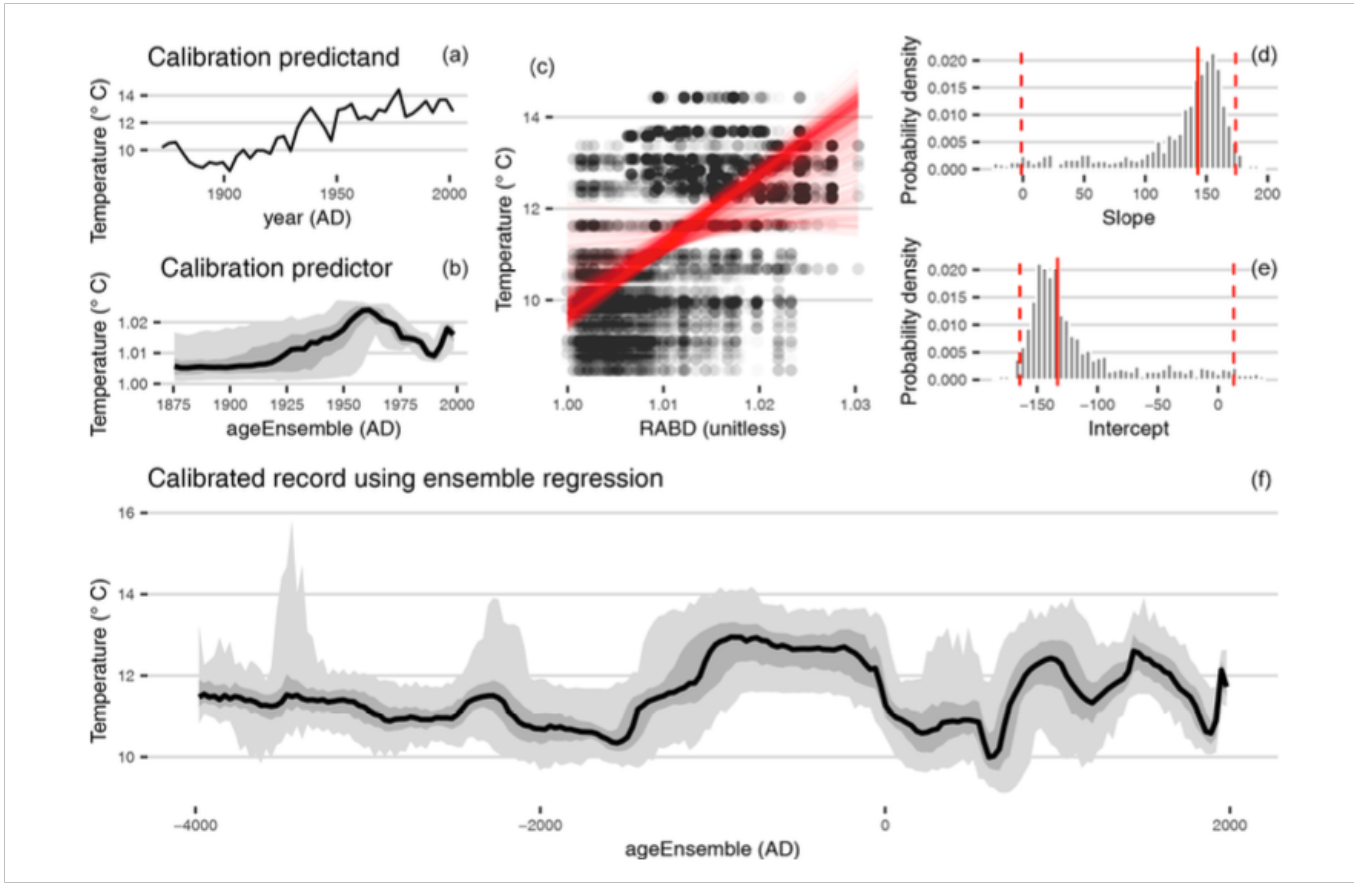


Figure: McKay et al., (2021)

Probabilidades

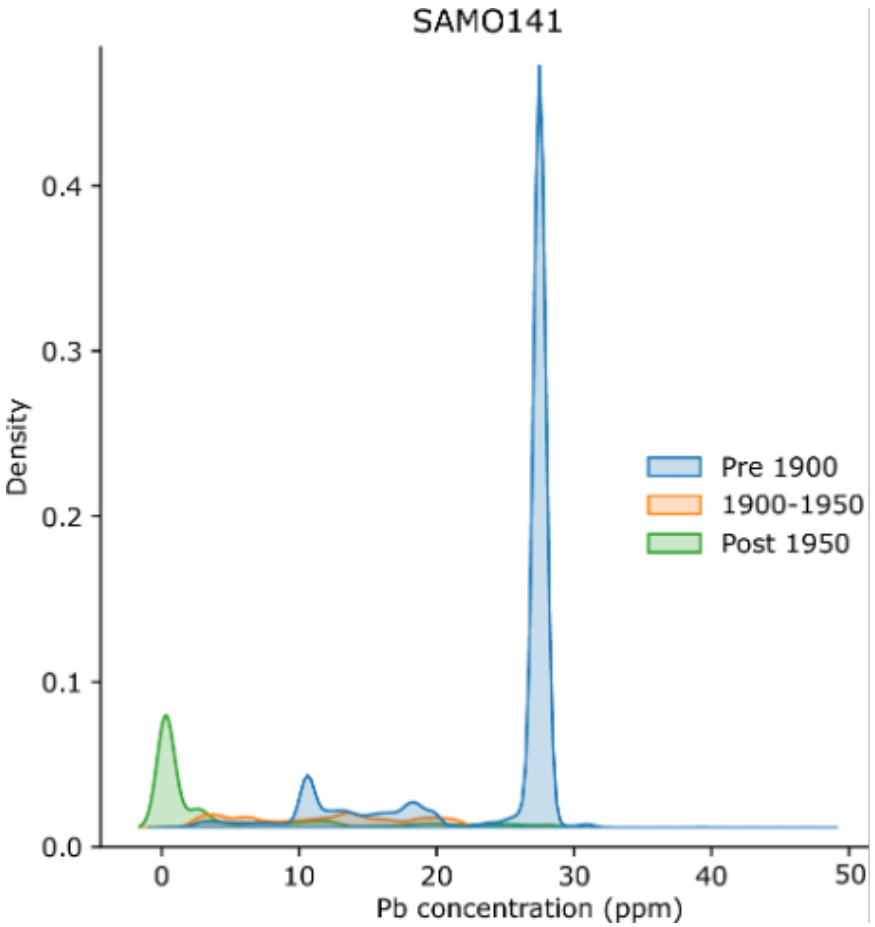


Figure: Aquino-López et al., (2024)

Kernel de distribución

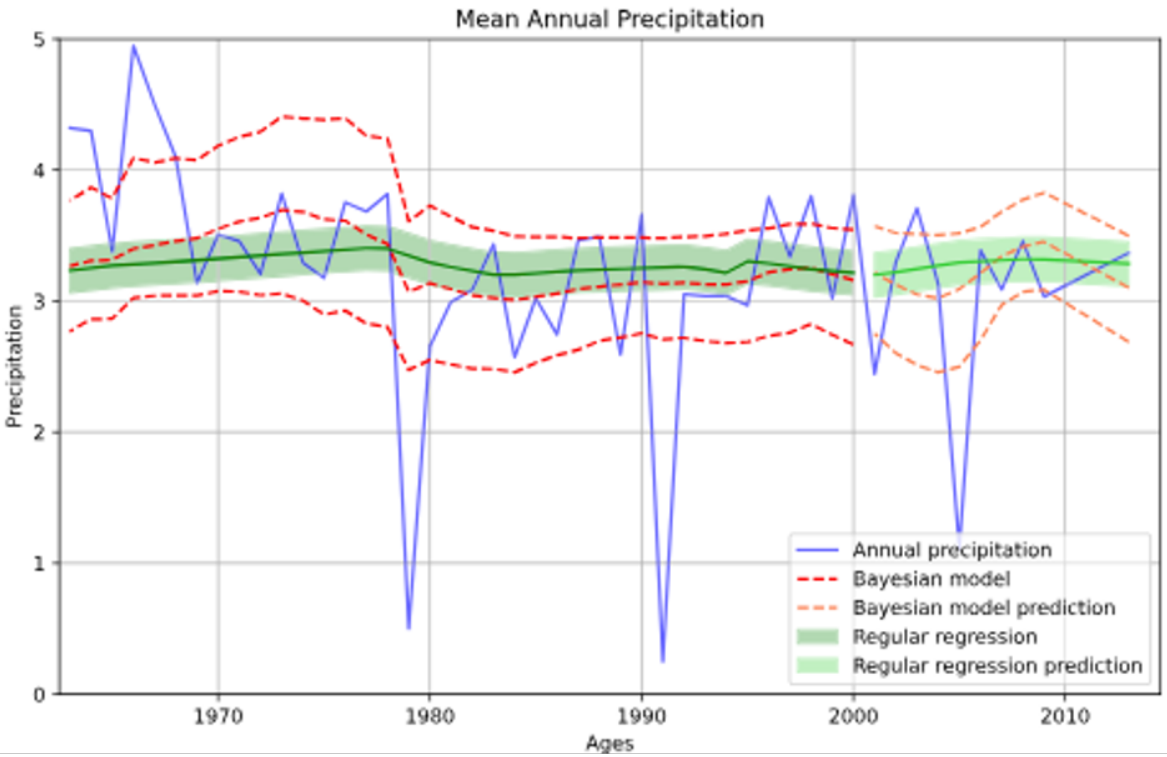


Figure: Aquino-López et al., (2024)

Gracias

GRACIAS

References

1. Aquino-López, M. A., Ruiz-Fernández, A. C., Blaauw, M., Sanchez-Cabeza, J. A. (2020). Comparing classical and Bayesian 210Pb dating models in human-impacted aquatic environments. *Quaternary Geochronology, 60*, 101106. https://doi.org/10.1016/j.quageo.2020.101106
2. Aquino-López, M. A., Blaauw, M., Christen, J. A., & Sanderson, N. (2018). Bayesian analysis of 210Pb dating. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, 23*, 317–333. https://doi.org/10.1007/s13253-018-0328-7
3. Hunter, H.N., Gowing, C.J.B., Marriott, A.L., Lacey, J.H., Dowell, S., and Watts, M.J. (2023). Developments in Pb-210 methodologies to provide chronologies for environmental change. *Environmental Geochemistry and Health, 45*, 1173–1181. https://doi.org/10.1007/s10653-022-01215-x
4. McKay, N. P., Emile-Geay, J., and Khider, D. (2021). geoChronR – an R package to model, analyze, and visualize age-uncertain data, *Geochronology*, 3, 149–169, https://doi.org/10.5194/gchron-3-149-2021.