

LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRBOLES URBANOS COMO ELEMENTO CLAVE PARA GARANTIZAR UN ACCESO EQUITATIVO A LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS ENTRE GRUPOS SOCIOECONÓMICOS

Ángel Ruiz-Valero¹, Jaime F. Pereña-Ortiz¹, Pedro M. Guerrero-Serrano¹, Begoña Galindo-Ruiz¹, Álvaro Marín-Calle¹, Alba Gil-Martín¹, Pablo Cozano-Pérez¹, Ángel E. Salvo-Tierra¹
¹ Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga, 29010, Málaga, España

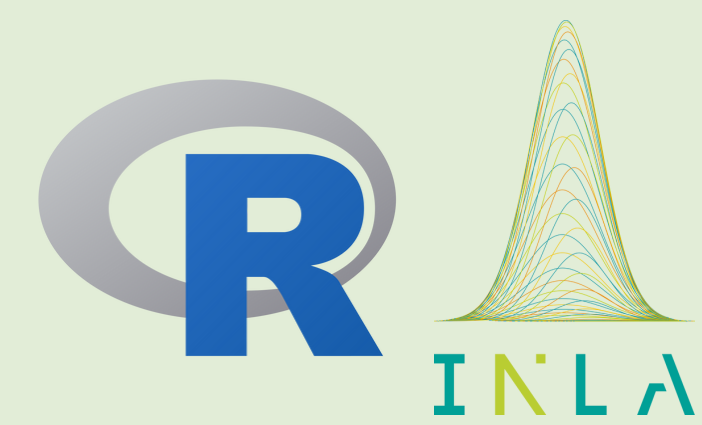
El Objetivo de Desarrollo Sostenible 11 busca promover ciudades inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Sin embargo, en muchas áreas urbanas persisten desigualdades en el acceso a beneficios ambientales, especialmente entre grupos socioeconómicamente desfavorecidos y minorías étnicas (UN 2023). Estos grupos suelen estar más expuestos a riesgos ambientales como el calor extremo o la contaminación, y tienen menor acceso a infraestructuras verdes, particularmente al arbolado urbano, principal proveedor de servicios ecosistémicos en las ciudades (Riley & Gardiner 2020). A pesar de su importancia, existen pocos estudios que analicen directamente la equidad en la provisión de estos servicios. Este trabajo emplea Modelos Jerárquicos Bayesianos para evaluar las disparidades en el acceso a múltiples servicios ecosistémicos y la exposición a compuestos orgánicos volátiles biogénicos (COVBs) en tres distritos municipales de Málaga, utilizando datos del inventario municipal de arbolado, i-Tree Eco y LiDAR aéreo. Los resultados revelan desigualdades significativas asociadas al ingreso, la etnicidad, el índice de Gini y la edad, subrayando la necesidad de estrategias de planificación urbana más equitativas y basadas en las características estructurales del arbolado.

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

El bosque urbano de Málaga está formado por 104,690 árboles, de los cuales el 85,4% (89,438) son árboles.



MODELO JERÁRQUICO BAYESIANO PARA LA ESTIMACIÓN DE INEQUIDADES



$$\log(Y_{i,j}) | \eta_{i,j}, \phi_j \sim \text{Gaussian}(\eta_{i,j}, \phi_j)$$

$$\eta_{i,j} = \alpha_j + \sum_{k=1}^K \beta_{k[j]} X_{ik} + \theta_{i,j}$$

$$\beta_{k[j]} \sim N(0, \delta_j)$$

$$\theta_{i,j} = \frac{1}{\sqrt{\tau_j}} \left(\sqrt{1 - \psi_j} u_{i,j} + \sqrt{\psi_j} v_{i,j} \right) \quad (1)$$

$$v_{i,j} | v_{-i,j} \sim N\left(\frac{\sum_{h \in N_h} v_h}{n_i}, \frac{1}{n_i}\right)$$

$$u_{i,j} \sim N(0, 1)$$

$$\alpha_j \sim N(0, 0.001)$$

$$\phi_j \sim \text{Gamma}(0.001, 0.001)$$

$$P(\tau_j) = \frac{\lambda}{2} \tau_j^{-\frac{3}{2}} \exp\left(-\lambda \tau_j^{\frac{1}{2}}\right), \quad \tau > 0, \quad \lambda > 0, \quad \lambda = \frac{-\ln a}{U}$$

$$P\left(\frac{1}{\sqrt{\tau_j}} > U_1\right) = a_1, \quad U_1 = 2, \quad a_1 = 0.5$$

$$P\left(\frac{1}{\sqrt{\delta_j}} > U_2\right) = a_2, \quad U_2 = 1, \quad a_2 = 0.2$$

$$P(\psi_j < U_3) = a_3, \quad U_3 = 0.5, \quad a_3 = 0.5$$

Ecuación 1. Modelo Jerárquico Bayesiano.

INEQUIDADES SOCIOECONÓMICAS EN EL ACCESO A SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

	Escorrentía evitada (L/y) (ΔY = %)	Producción de COV (g/y) (ΔY = %)	Producción de oxígeno (Kg/y) (ΔY = %)	Eliminación de contaminantes (g/y) (ΔY = %)
Gini				
(-)	7.98 [2.82, 13.33]	9.17 [2.33, 16.37]	6.49 [2.14, 10.96]	7.89 [2.6, 13.38]
(ΔX = 1)				
Log Renta (Log €)				
(ΔX = 5%)	1.9 [0.95, 2.86]	2.18 [0.88, 3.47]	1.76 [0.95, 2.57]	1.97 [0.99, 2.96]
Log Población (Log n)				
(ΔX = 5%)	2.03 [1.37, 2.7]	2.31 [1.42, 3.21]	2.17 [1.59, 2.74]	2.06 [1.37, 2.76]
ILR Africanos				
(-)	-6.93 [-10.31, -3.46]	-7.66 [-12.1, -3.06]	-5.88 [-8.8, -2.89]	-6.94 [-10.42, -3.36]
(ΔX = 0.1)				
ILR Americanos (-)				
(ΔX = 0.1)	-4.76 [-8.06, -1.37]	-5.58 [-9.84, -1.17]	-3.55 [-6.41, -0.62]	-4.66 [-8.05, -1.16]
ILR Europeos (+)				
(ΔX = 0.1)	-4.17 [-7.7, -0.54]	-6.56 [-11.1, -1.88]	-4.74 [-7.73, -1.68]	-4.47 [-8.1, -0.74]
ILR Asiáticos				
(-)	0 [-0.44, 0.45]	0 [-0.54, 0.53]	0.03 [-0.5, 0.59]	0 [-0.45, 0.45]
(ΔX = 0.1)				
ILR 0-29				
(-)	2.01 [-5.53, 11.59]	1.85 [-6.62, 12.35]	1.74 [-5.36, 10.39]	2.36 [-5.4, 12.29]
(ΔX = 0.1)				
ILR >65				
(-)	0.44 [-1.85, 3.2]	0.55 [-1.93, 3.73]	-0.2 [-2.5, 2.04]	0.4 [-1.92, 3.17]
(ΔX = 0.1)				
Densidad arbórea (árboles/ha)				
(ΔX = 1)	4.22 [3.89, 4.55]	4.22 [3.89, 4.55]	4.22 [3.89, 4.55]	4.22 [3.89, 4.55]

Tabla 1. Estimaciones de efectos fijos. Para cada variable de respuesta, el efecto fijo de cada covariable está representado por su valor medio junto con los cuantiles 0,025 y 0,975. ΔX denota el aumento en la covariable que resulta en un cambio ΔY en la variable de respuesta. Las covariables con un tipo de unidad (-) indican que son adimensionales

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS



Fig. 1: Resumen métrico del proceso de simulación de la distribución espacial del secuestro de carbono en una cuadrícula de 10 m. (A) Valor medio transformado logarítmicamente para el área de estudio; (B) Valor medio transformado logarítmicamente; (C) Cuantil 0,025 transformado logarítmicamente (Q0,025); (D) Cuantil 0,975 transformado logarítmicamente (Q0,975); y (E) Coeficiente de variación.

CONCLUSIONES

- El modelo jerárquico bayesiano revela desigualdades en el acceso a los servicios ecosistémicos del arbolado urbano entre grupos sociales.
- Factores como bajos ingresos, menor equidad y mayor proporción de población de origen africano, sudamericano o europeo oriental se asocian con menor acceso a estos beneficios.
- El arbolado se concentra en zonas con alto valor inmobiliario, limitando su acceso a personas con mayores ingresos.
- Las minorías étnicas suelen vivir en áreas con menor arbolado y mayor exposición a riesgos ambientales.
- Se destaca la necesidad de políticas urbanas equitativas que garanticen el acceso justo a la infraestructura verde, especialmente para grupos vulnerables.

REFERENCIAS

- United Nations, UN (2023). Independent Group of Scientists appointed by the Secretary-General, Global Sustainable Development Report 2023: Times of crisis, times of change: Science for accelerating transformations to sustainable development
- Riley, C. B., & Gardiner, M. M. (2020). Examining the distributional equity of urban tree canopy cover and ecosystem services across United States cities. *PLoS One*, 15(2), e0228499. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228499>