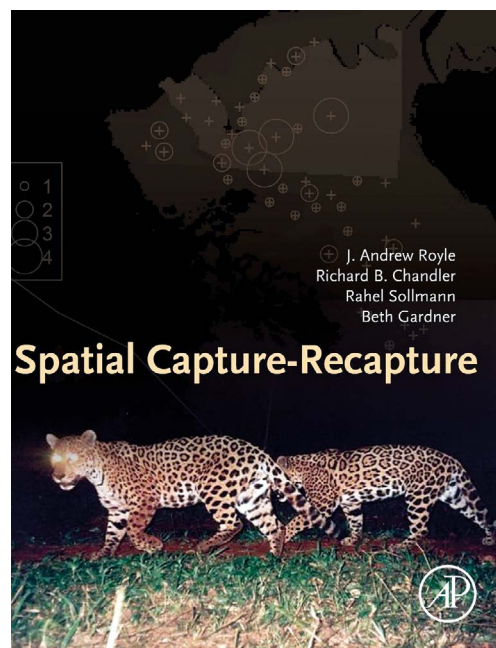

REVISIÓN DEL LIBRO: ROYLE, J.A., R.B. CHANDLER, R. SOLLMANN, B. GARDNER. 2014. *SPATIAL CAPTURE-RECAPTURE*. ACADEMIC PRESS, WALTHAM, MA. 577 PP. [ISBN: 978-0-12-405939-9]

Salvador Mandujano

Red Biología y Conservación de Vertebrados, Instituto de Ecología A.C., km 2.5 Carretera Antigua Coatepec No. 351, Congregación del Haya, Xalapa 91070, Ver., México.

Autor de correspondencia: salvador.mandujano@inecol.mx

La captura-recaptura (CR) es uno de los métodos más frecuentemente empleados en los estudios de poblaciones animales (Lancia *et al.*, 1994; Sutherland, 2006). Se han escrito libros específicos sobre este método, como los dos más recientes: “*Handbook of capture-recapture analysis*” (Amstrup *et al.*, 2005) y “*Analysis of capture-recapture data*” (McCrea y Morgan, 2014). Los métodos CR tienen larga tradición en el estudio de animales debido a la relativa facilidad para su captura en trampas tipo



sherman, tomahawk, redes y otras, y se han aplicado a un amplio número de especies de mamíferos (principalmente roedores y quirópteros), aves, reptiles y otros. Además, a pesar del auge actual de métodos no invasivos como el foto-trampeo (O'Connell *et al.*, 2011) y los métodos moleculares para identificar individuos a través del ADN en trampas de pelos o de excrementos frescos (Mills *et al.*, 2000), los modelos CR siguen en boga y se ha extendido su aplicación a una gran variedad de especies difíciles de capturar físicamente y/o que son raras (Thompson, 2004).

Sin embargo, la mayor limitante de los métodos y modelos clásicos de CR es que no incorporan la estructura espacial de los procesos ecológicos que dan lugar a los datos comúnmente referidos como historia de encuentro o detección de los individuos (captura-recaptura), ni tampoco incorporan la ubicación espacial de las trampas para obtener estos datos (Efford, 2011). Históricamente, la estimación de la abundancia (N) y la densidad (D) con CR se ha abordado usando métodos *ad hoc* basados en estimadores de poblaciones cerradas aplicados a los datos de capturas de los individuos (Amstrup *et al.*, 2005). La limitante conceptual de estos estimadores es que no incorporan los movimientos de los animales lo cual dificulta definir de manera precisa la superficie (S) de estudio en la cual se hará la inferencia de la densidad: $D = N/S$ (O'Brien, 2011).

Las aproximaciones convencionales han tratado de estimar un área efectiva de muestreo (comúnmente referido como ESA, por sus siglas en inglés de effective sampling area) utilizando métodos no relacionados por medio de un modelo estadístico a los datos de la historia de los encuentros observados. En consecuencia, la principal limitación de los métodos CR es que los modelos subyacentes no son lo suficientemente flexibles a diversas situaciones que se presentan en campo y esto tiene como consecuencia posibles estimaciones sesgadas del tamaño poblacional (Karanth y Nichols, 1998).

Como respuesta a estas limitantes, actualmente se están desarrollando modelos de captura-recaptura espacialmente explícitos, referidos también por sus siglas en inglés como SECR o SCR (Efford, 2011). Los SCR hacen explícitos los procesos ecológicos en el modelo, por ejemplo, incorporando información acerca del movimiento y del uso del espacio por los animales. La importancia práctica de los modelos SCR es que permiten estudiar elementos de la teoría ecológica utilizando datos de los encuentros de los individuos los cuales exhiben diversos sesgos relacionados con los procesos de observación (Kéry y Schaub, 2012). En particular, los modelos SCR se pueden utilizar para la obtención de datos demográficos de especies raras y/o difíciles de observar (Royle y Dorazio, 2008).

En este contexto, recientemente se publicó el libro "*Spatial Capture-Recapture*" de Royle, Chandler, Sollmann y Gardner (2014) donde se profundiza en la aplicación de los SCR a diversas situaciones y objetivos de estudio. Particularmente, en este libro se enfatiza que en los modelos SCR la probabilidad de captura-recaptura está condicionada en sí misma por la abundancia local de la población de estudio, pero también a la distancia entre el dispositivo de captura y los centros de actividad de los animales accesibles a los dispositivos. Tanto la abundancia como la distancia son variables de estado desconocidas; la primera relacionada con el proceso ecológico de interés (la estimación del tamaño poblacional) y la segunda relacionada con el proceso observacional (a menor distancia entre el dispositivo y el centro de actividad, mayor probabilidad de captura-recaptura). Esta probabilidad se calcula a partir de los datos de historias de captura-recaptura de un mismo animal en diferentes dispositivos o trampas y de la ubicación espacial de cada dispositivo. Una manera natural de calcular esto es empleando un modelo de distancia *a priori* como, por ejemplo, el gaussiano o normal (forma de campana) donde existe mayor probabilidad de captura conforme el dispositivo o trampa está más cerca del centro de actividad del individuo, y esta probabilidad disminuye al aumentar esa distancia (Royle *et al.*, 2014). Este aspecto es lo que convierte a estos modelos de captura-recaptura en espacialmente explícitos. Es decir, en los SCR no se agrupa toda la información obtenida en los dispositivos de muestreo como trampas, redes, cámaras u otro. Por el contrario, el análisis espacial de las capturas-recapturas se convierte en el elemento central de los SCR.

El libro detalla la manera de abordar los SCR a través de modelos jerárquicos conocidos como HM, por sus siglas en inglés de "*Hierarchical models*" (Royle y Dorazio, 2008). De manera

simplificada, un modelo jerárquico es una secuencia de dos o más modelos lineales generalizados (GLMS) donde un parámetro o variable de estado está condicionada a otra (Bolker, 2008). En el caso de los SCR uno de los modelos HM más simples es el que se basa en la hipótesis de: 1) la abundancia (N) está distribuida de acuerdo a un modelo Poisson, 2) los centros de actividad de los animales se encuentran uniformemente distribuidos en un espacio bidimensional, y 3) la probabilidad de captura (p) es una función de la distancia entre el centro de actividad y la trampa (Royle *et al.*, 2014). Es decir, estos modelos permiten la separación entre el proceso ecológico de interés que genera los datos observados y los procesos observacionales que influyen sobre la probabilidad de detección de los animales (Kéry y Schaub, 2012).

Los modelos jerárquicos se resuelven empleando estimaciones basadas en aproximaciones de máxima verosimilitud (ML) y bayesianas (Royle y Dorazio, 2008; Kéry y Royle, 2016). Es de destacarse que en los últimos años ha habido un desarrollo importante en el enfoque bayesiano empleando lenguajes de programación como BUGS (*Bayesian Using Gibbs Sampling*) en dos plataformas: WinBUGS y OpenBUGS; otros como JAGS (*Just Another Gibbs Sampling*) y Stan (Lunn *et al.*, 2013). Para una introducción relativamente sencilla al enfoque bayesiano se sugiere consultar el libro de Kruschke (2015). El libro "*Spatial Capture-Recapture*" está organizado en cinco partes con un total de 20 capítulos. En la Parte I se introducen las bases y conceptos esenciales del tema. Particularmente, en el Capítulo 1 se introduce a los estudios de captura-recaptura enfocándose a aspectos de la modelación de la probabilidad de encuentro y las poblaciones cerradas.

El Capítulo 2 introduce los modelos estadísticos básicos, las distribuciones probabilísticas más comunes y muy particularmente los modelos espacialmente explícitos de captura-recaptura (SCR) que se emplean en todo el libro. El Capítulo 3 es una excelente introducción a los modelos lineales generalizados (GLMS) y el enfoque de análisis Bayesiano para la solución de estos modelos. El Capítulo 4 profundiza en los modelos CR clásicos empleados para poblaciones cerradas.

La Parte II aborda los modelos SCR básicos. En particular, el Capítulo 5 profundiza en los modelos espaciales SCR. En el Capítulo 6 se introduce a los análisis de verosimilitud (likelihood) para resolver modelos SCR; se comenta el programa *DENSITY* y su versión R *SECR*. El Capítulo 7 profundiza considerando modelos de la variación en la probabilidad de encuentro de los individuos. En el Capítulo 8 se aborda el tema de la selección y evaluación de modelos a través de técnicas como la *aic* y bayesiana como la *DIC*. En el Capítulo 9 se presentan modelos alternativos incluyendo muestreos acústicos, mientras que en el Capítulo 10 se presentan algunas consideraciones generales sobre el diseño de muestreo.

En la Parte III de este libro se profundiza en modelos SCR más avanzados. Particularmente, en el Capítulo 11 se presentan modelos de la variación espacial de la densidad. En el Capítulo 12 se modela la conectividad del paisaje; mientras que en el Capítulo 13 se integran los modelos de selección de recursos con modelos SCT. El Capítulo 14 presenta modelos estratificados tanto espacial como temporalmente. En el Capítulo 15 se presentan modelos basados en encuentro por búsqueda activa de los individuos. En el Capítulo 16 se presentan los modelos para poblaciones abiertas.

La Parte IV se titula como modelos SCR super-avanzados. En el Capítulo 17 se desarrollan en detalle las conocidas *Cadenas Markov de Muestreo Monte Carlo* (MCMC) muy empleadas en el enfoque bayesiano. En el Capítulo 18 se presentan modelos para los casos donde los individuos no son fácilmente identificables y/o marcados, situación muy extendida para un gran número de especies animales. En el Capítulo 19 se presentan modelos espaciales de captura y reavistamiento. El capítulo final de este libro, el Capítulo 20, hace una recapitulación del estado de arte de los SCR hasta el 2012 y plantea una serie de tópicos emergentes para abordar en futuros estudios.

En la Parte V los autores presentan un apéndice con sugerencias útiles para implementar varios paquetes R y en particular, el análisis bayesiano en WinBUGS, OpenBUGS y JAGS implementados en R a través de los paquetes R2WinBUGS, R2OpenBUGS, y RJAGS.

En mi opinión, “*Spatial Capture-Recapture*” de Royle, Chandler, Sollmann y Gardner (2014) es un gran libro, con un aporte muy novedoso; no sencillo de entender para aquellos que no estamos avezados en los modelos matemáticos, pero al mismo tiempo muy práctico con los numerosos ejemplos que se describen y solucionan. Es importante resaltar que este libro no es un manual de campo para el muestreo de algún método específico de captura-recaptura, ni se enfoca a ninguna especie en particular. En lo particular, con el actual auge del foto-trampeo los modelos SCR resultan de gran utilidad para datos de animales con marcas naturales como, por ejemplo, algunas especies de felinos (O’Connell *et al.*, 2011).

Finalmente, como opinión personal, los biólogos dedicados al estudio de mamíferos y otros animales, debemos abandonar la idea de que las matemáticas y la estadística, particularmente el modelaje, son temas complicados. Además, desde un enfoque de aplicación a problemas de conservación de especies y/o poblaciones en riesgo, y otras con potencial de aprovechamiento sustentable, es un compromiso y responsabilidad proveer estimaciones fiables del tamaño poblacional. En este sentido, los modelos espacialmente explícitos de captura-recaptura (SCR) son una gran oportunidad...!

LITERATURA CITADA

- Amstrup, S., T. McDonald y B. Manly. eds. 2005. *Handbook of capture-recapture analysis*. Princeton University Press.
- Bolker, B.M. 2008. *Ecological models and data in R*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Efford, M.G. 2011. Estimation of population density by spatially explicit capture–recapture with area searches. *Ecology*, 92:2202–2207.
- Efford, M.G., D.K. Dawson y C.S. Robbins. 2004. *DENSITY*: software for analysing capture-recapture data from passive detector arrays. *Animal Biodiversity and Conservation*, 27:217-228.
- Kéry, M. y M. Schaub. 2012. *Bayesian population analysis using WinBUGS: a hierarchical perspective*. Elsevier Academic Press, Waltham, MA.
- Kéry, M. y J.A. Royle. 2016. *Applied hierarchical modeling in ecology: analysis of distribution, abundance and species richness in R and BUGS. Vol.1 Prelude and Static Models*. Academic Press, London, UK.
- Kruschke, J.K. 2015. *Doing bayesian data analysis: a tutorial with R, JAGS, and Stan*. Second Edition, Elsevier Academic Press.
- Lancia, R.A., J.D. Nichols y K.H. Pollock. 1994. Estimating the number of animals in wildlife populations. Pp. 215–253 in: *Research and management techniques for wildlife and habitats*. (T.A. Bookhout, ed.) Fifth edition. The Wildlife Society, Washington, D.C.
- Lunn, D., C. Jackson, N. Best, A. Thomas y D. Spiegelhalter. 2013. *The BUGS book: a practical introduction to Bayesian analysis*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- McCrea, R.S. y B.J. Morgan. 2014. *Analysis of capture-recapture data*. CRC Press.
- Mills, L.S., J.J. Citta, K.P. Lair, M.K. Schwartz y D.A. Tallmon. 2000. Estimating animal abundance using noninvasive DNA sampling: promise and pitfalls. *Ecological applications*, 10:283-294.
- O’Connell, A.F., J.D. Nichols y K.U. Karanth. 2011. *Camera traps in animal ecology: methods and analyses*. Springer, New York, NY.

- Royle, J.A. y R.M. Dorazio. 2008. *Hierarchical modeling and inference in ecology: the analysis of data from populations, metapopulations and communities*. Academic Press, London, UK.
- Royle, J.A., R.B. Chandler, R. Sollmann y B. Gardner. 2014. *Spatial capture-recapture*. Elsevier, MA.
- Sutherland, W.J. 2006. *Ecological census techniques a handbook*. Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Thompson, E.L. 2004. *Sampling rare or elusive species: concepts, designs and techniques for estimating population parameters*. Island Press, Washington, D.C.
- White, G.C. y K.P. Burnham. 1999. Program MARK: Survival estimation from populations of marked animals. *Bird Study*, 46:120-138.