

Modelos Espaciales y Temporales de la Dinámica de Poblaciones de Malezas

José Luis González-Andújar

Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC). Dpto. Protección de cultivos., Apdo. 4084, 14080 Córdoba, España.

RESUMEN

La modelización matemática es una herramienta usada comúnmente para estudiar la dinámica de las poblaciones de malezas en agricultura. Las poblaciones de malezas son dinámicas en el tiempo y en el espacio. Sin embargo, la mayoría de los modelos poblacionales han considerado únicamente la dinámica temporal. Actualmente, existe un gran interés en el desarrollo de modelos espaciales de dinámica de poblaciones como consecuencia del desarrollo de nuevos sistemas de producción (e.j. agricultura de precisión) y nuevas herramientas estadísticas y matemáticas. El objetivo de esta comunicación es presentar una revisión de los modelos espaciales de la dinámica de poblaciones de malezas y su uso para explorar escenarios de manejo.

Palabras claves: modelos espaciales, modelos integrodiferenciales, autómatas celulares, dinámica de poblaciones, manejo de malezas.

ABSTRACT- Spatio-temporal models of the population dynamic of weeds.

Mathematical modelling is a commonly used tool for studying the long-term dynamics of weed populations in agriculture. Weed populations are dynamic in time and in space. However, the main body of weed population models have considered only the dynamic in time. Actually, there is a growing up interest in the development of spatial weed population models as consequence of the development of new production systems (e.j. precision farming) and new methodological tools in statistics and mathematics. The objective of this communication is present a brief review of the spatial weed population dynamic models and its applications.

Keywords: spatial weed model, integro-difference model, cellular automaton, population dynamics, weed management.

INTRODUCCIÓN

El origen del uso de modelos de dinámica de poblaciones en Malherbología se remonta a los años 70 (Sagar and Mortimer, 1976; Mortimer *et al.*, 1978). Estos autores utilizaron modelos relativamente sencillos que describían y cuantificaban el ciclo biológico de las malezas con el fin último de predecir la evolución de las poblaciones bajo diferentes escenarios de control. Progresivamente, otros estudios fueron añadiendo más complejidad a los modelos desarrollados: dependencia de la densidad (Watkinson, 1980),

distribución vertical de las semillas en el suelo (Cousens & Moss, 1990), edad de las semillas (Wilson *et al.*, 1985), presencia de varias cohortes (Debaeke, 1988; González Andújar & Fernández-Quintanilla, 1991), etc.

Los modelos matemáticos se han establecido sólidamente en Malherbología como herramientas predictivas de la evolución temporal de las poblaciones y su aplicación al estudio de escenarios de control (Holst *et al.*, 2007). Sin embargo, la validez de dichos modelos es limitada al estudio de la dinámica temporal de las poblaciones de malezas, careciendo de una capacidad predictiva espacial.

Actualmente, se está produciendo un incremento del interés por el estudio de la dinámica espacial de las poblaciones como consecuencia de diversos factores como son el desarrollo de nuevos sistemas de producción (p. ej. la agricultura de precisión) y la existencia de nuevos desarrollos computacionales, estadísticos y matemáticos que facilitan la modelización espacial (González-Andujar & Perry, 2000).

El objetivo de esta comunicación es presentar una visión actual de los modelos espaciales de la dinámica de poblaciones en Malherbología y su uso para explorar escenarios de manejo.

MODELOS ESPACIALES

El desarrollo de modelos dinámicos espaciales requiere una mayor complejidad que los modelos no espaciales, pero permiten la integración de factores esenciales para entender la evolución natural de las poblaciones, como son la consideración de efectos locales bióticos y abióticos (interacción con las plantas vecinas, heterogeneidad espacial, etc.). Lo que añade más realismo en relación con los modelos no espaciales.

Tipos de modelos

Los modelos espaciales desarrollados en Malherbología han considerado en líneas generales el espacio como una variable continua o discreta. Los modelos que consideran el espacio de forma continua se han basado principalmente en ecuaciones integro-diferenciales (Mortimer *et al.*, 1996, Woolcock & Cousens, 2000), como:

$$N_{t+1}(x) = \int_{-L/2}^{L/2} K(x, y) f[N_t(y)] dy$$

donde $N_{t+1}(x)$ representa la densidad de la población en la posición x en el tiempo $t+1$, $N_t(y)$ representa la densidad de la población en la posición y . $K(x,y)$ es la probabilidad de que la población disperse desde la posición x a la y . $f [N_t(y)]$ es la función de crecimiento de la población y L representa el tamaño del hábitat. Gonzalez-Andujar y Saavedra (1999)

utilizan este tipo de modelos para simular la evolución espacial y estimar la velocidad de expansión de varias especies de malas hierbas (*Hordeum* sp., *Lolium rigidum*, *Bromus diandrus*, y *Bromus madritensis*) en el olivar. Estos autores consideran que el modelo de dispersión [K(x,y)] de semillas sigue una distribución Normal (Gaussiana), y que el modelo de crecimiento de la población (f[N_t(y)]) es logístico. Bajo esas dos condiciones el modelo vendría expresado por,

$$N_{t+1}(x) = \frac{\lambda}{\sqrt{D\pi}} \int_{-L/2}^{L/2} \exp\left[-\frac{(x-y)^2}{D}\right] N_t(y) \left[1 - \frac{N_t(y)}{k}\right] dy$$

donde λ es la tasa reproductiva de la población, k es la capacidad de carga del sistema y D es dos veces la varianza de la distribución Normal.

Los modelos que consideran el espacio como una variable discreta son los más populares por ser computacionalmente más sencillos, pueden integrar fácilmente los factores bióticos y abióticos y no requieren muchos conocimientos matemáticos. Estos modelos, llamados autómatas celulares, dividen el espacio en celdas donde crecen las malezas y simulan la dispersión entre las celdas que lo componen (Perry & González Andújar, 1993). Gonzalez-Andujar & Perry (1995) utilizan un modelo celular, donde definen el espacio con celdas hexagonales (Fig. 1) que soportan poblaciones de avena loca (*Avena sterilis* ssp. *ludoviciana*). El modelo fue utilizado para estudiar el comportamiento espacial de poblaciones de avena loca bajo diferentes escenarios de control, la velocidad de colonización de un campo de cereal, así como la existencia y perdurabilidad de las manchas de malezas.

LITERATURA CITADA

COUSENS, R.; MOSS, S. R. A model of the effect of cultivation on the vertical distribution of weed seeds within the soil. **Weed Research**, Oxford, v. 30, p. 61-70, 1990.

WOOLCOCK J. L.; COUSENS R. D. A mathematical. analysis of factors affecting the rate of spread of patches of annual weeds in an arable field. **Weed Science**, Ithaca, v. 48, p. 27–34, 2000.

DEBAEKE, P. Modelisation de l'évolution a long terme de la flore adventice. II. Application a trois dicotyledones annuelles en un site donne. **Agronomie**, Paris, v. 8, p. 767–777, 1988.

GONZÁLEZ-ANDÚJAR, J. L.; FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C. Modeling the population dynamics of *Avena sterilis* under dry-land cereal cropping systems. **Journal of Applied Ecology** , Oxford, v. 28, p.16-27, 1991

GONZÁLEZ-ANDÚJAR, J. L.; PERRY J.N. Models for the control of the seed bank of *Avena sterilis*: the effects of spatial and temporal heterogeneity and of dispersal. **Journal of Applied Ecology** , Oxford, v. 32, p. 578-587, 1995.

GONZÁLEZ-ANDÚJAR, J. L.; PERRY, J. N. Spatial analysis in pest and weed management. Proceedings of 20th INTERNATIONAL BIOMETRIC CONFERENCE, 20., 2000, Berkeley. **Proceedings...** Berkeley: International Biometric Society, 2000. p. 89-96.

GONZÁLEZ-ANDÚJAR, J. L.; SAAVEDRA, M. Estimación del tamaño crítico y velocidad de expansión de los rodales de malas hierbas. In: CONGRESO DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MALHERBOLOGÍA. 7., 1999. Logroño. **Actas...** Gobierno de La Rioja, 1999. p. 45-48.

HOLST, N.; RASMUSSEN, L. A.; BASTIAANS, L. Field weed population dynamics: a review of model approaches and applications. **Weed Research**, Oxford, v. 47, p.1-14, 2007.

MORTIMER, A. M. On weed demography. In: FLETCHER, W. W. (Ed.). **Recent advances in weed research**. London: CAB, 1983. p. 3-40.

MORTIMER, A. M.; LATORE, J.; GOULD, P. From weed populations to weed communities: patch size and patch composition. In: INTERNATIONAL WEED CONTROL CONGRESS, 2., 1996, Copenhagen. **Proceedings...** Department of Weed Control and Pesticide Ecology, 1996. p. 35-40.

PERRY, J. N.; GONZÁLEZ-ANDÚJAR, J. L. Dispersal in a metapopulation neighbourhood model of an annual plant with a seedbank. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 81, p. 458-463, 1993.

SAGAR, G. R.; MORTIMER, A. M. An approach to the study of the population dynamics of plants with special reference to weeds. **Applied Biology**, London, v. 1, p. 1-47, 1976.

WATKINSON, A. R. Density-dependence in single species populations of plants. **Journal of Theoretical Biology**, London, v. 83, p. 345-357, 1980.

WILSON, B. J. Effect of seed age and cultivation on seedling emergence and seed decline of *Avena fatua* L. in winter barley. **Weed Research**, Oxford, v. 25, p. 213-219, 1985.