**Reto 4. Análisis de modelos de simulación.**

**Introducción**

Los autómatas celulares son modelos dinámicos, discretos en tiempo, espacio y estado. Un autómata celular simple A aparece definido como una grilla L, un estado espacial Q, una plantilla de vecindad Q y una función de transición local f (Adamatzky, 1994, según Balzter *et al*., 1998):

*A*= (*L*, *Q*, *d*, *f*)

Cada celdilla de *L* puede ser un estado discreto de *Q*. Las celdillas pueden estar relacionadas de diferentes maneras, siendo la más simple la conexión espacial. Las celdillas aparecen indexadas por números en s€I, donde *I* es el set de indexamiento.

Las celdas pueden cambiar de estado de forma discreta, siendo generalmente el autómata celular un elemento sincrónico, de forma que las celdas cambian de estado sincrónicamente. El modo en que cambie la celda será dependiente de sus celdas vecinas y de la correspondiente función de transición *f.* Así, la relación más empleada en estos modelos es la que puede mantener una celda con sus ocho vecinas inmediatas (*Moore-neighbourhood*), teniéndose en cuenta en modelos más avanzados la celda central y cuatro celdas adyacentes (*von Neumann-neighbourhood*). Son denominadas relaciones de segundo y primer orden, respectivamente. Si se emplean múltiples reglas de relación, el orden de procesamiento de las mismas será especialmente condicionante para los resultados del modelo (Ruxton, 1996). En este sentido, en cuanto a sistemas ecológicos se refiere, ha sido determinado que procesos estocásticos tienen una mejor analogía con éstos que los deterministas, aunque en ocasiones su valor heurístico pueda ser menor (Phipps, 1992). Así mismo, se ha planteado que una de las fortalezas de estos modelos es su capacidad de modelización de ecosistemas respecto a la segregación espacial, la cual suele ser una condición para la coexistencia de depredadores y presas en determinadas comunidades (Kareiva & Wennergren, 1995).

Relacionado con este campo, debemos mencionar que determinados autómatas celulares se denominan, por sus siglas en inglés, STMC (Spatio-Temporal Markov-Chain) cuando cumplen dos condiciones concretas: dependencia espacial (el futuro de una celda determinada depende del estado de sus celdas vecinas) y dependencia temporal (el estado futuro de las celdas depende de los estados pasados de sus celdas vecinas).

Teniendo esto en cuenta, los autómatas celulares tienen un amplio abanico de posibles aplicaciones de los más variadas, siendo el estudio de cobertura del suelo (Flamm and Turner, 1994), los efectos del fuego en bosques (Green, 1989), cambios de uso del suelo (Wilkien & Finn, 1988) y ecosistemas de matorrales semi-áridos (Wiegand *et al*., 1994), entre otros muchos, ejemplos de sus posibles aplicaciones.

**Cellular Automata Models for Vegetation Dynamics. Heiko Balzter, Paul W. Braun and Wolfgang Köhler.**

Desde un punto de vista teórico, se modeliza primero la destrucción del hábitat según la competencia establecida entre dos especies de plantas, en las cuales siempre aparece una más dominante y otra que no lo es tanto. De este modo, encontramos cuatro posibles celdas en el modelo: parches permanentemente destruidos, parches vacíos pero disponibles para la colonización, y parches ocupados por una u otra especie. Así, la probabilidad de que un parche sea colonizado dependerá de la presencia de especies en los parches vecinos. Mientras que la especie dominante siempre gana la colonización, la especie no dominante sólo podrá colonizar un parche cuando este aparezca vacío. Las posibles colonizaciones y extinciones en los parches ocurren en los mismos tiempos. La simulación se lleva a cabo en una grilla de 50x50 celdas. Los resultados indican que la coexistencia de las especies no sólo depende del hábitat disponible, sino también en el patrón de destrucción.

Después se muestra un trabajo en el cual se emplean muestras pertenecientes a varios años y a tres especies vegetales, para estudiar sus dinámicas poblacionales mediante autómatas celulares. Para caracterizar la dinámica de las poblaciones se emplea el porcentaje de cobertura de las zonas de muestreo. En función de estos datos, se trabajó con una grilla de 120 celdas (12 columnas y 10 filas). Se empleó una STMC, calculando la probabilidad de transición entre especies y sus estados a partir del número de celdas ocupadas por una u otra especie en los distintos tiempos manejados, es decir son dependientes espacial y temporalmente (requisitos de un autómata celular para ser un STMC). Las limitaciones de diferentes configuraciones iniciales de distribución no están claras, ya que todas terminaban en la misma distribución. Así, posiblemente el modelo prediga bien en tiempos cercanos, pero falle para predicciones a largo plazo, lo cual puede deberse a una violación del modelo en el momento en el que se trabaja con matrices que se mantienen estacionarias en el tiempo, incluyéndose aquí condiciones ambientales constantes.

Se concluye debiendo mencionar que se deben buscar reglas apropiadas para la modelización mediante autómatas celulares, ya que los resultados dependerán en gran medida de ellas. Para aplicar una correcta correlación temporal y de vecindad deberían aplicarse correlogramas para diferentes lapsos, tanto temporales como espaciales, viendo el efecto que esto podría tener.

La incorporación de variables no observadas a estos modelos podría ser realizada de diferentes maneras: corrigiendo las probabilidades de transición de acuerdo a una regla establecida y comprobando sistemáticamente el efecto de dicho ajuste, o introduciendo estados no observados de las variables manejadas que sigan un comportamiento de cadena de Markov, ampliándose así la variabilidad del modelo.

Debe mencionarse la carencia de estos modelos estocásticos a la hora de pasar por alto variables no observadas que pueden afectar a la probabilidad de los mismos en el tiempo. Así, el no planteamento de variables cambiantes en el tiempo puede producir cambios en las matrices de transición, las cuales no pueden ser consideradas estacionarias en determinados casos. Ahora bien, aunque un modelo correctamente planteado podría evitar este problema, realizar un muestreo exhaustivo no siempre se hace posible. No obstante, la interpretación de estos modelos proporciona información y conocimiento del sistema estudiado en múltiples casos.

**Examining the colonization process of exotic species varying in competitive abilities using a cellular automaton model. Ken Arii, Lael Parrott.**

El trabajo se centra en la implicación de las distintas competencias que surgen entre especies de plantas a la hora de colonizar una especie invasora una región dominada por especies nativas. Para simular el paisaje estudiado se empleó una grilla de 50x50 celdas, en cada una de las cuales sólo podía aparecer una de las especies estudiadas. Al inicio de cada uno de los tiempos manejados, las especies dispersan semillas en las propia celdas y en celdas relativas cuya dispersión es determinada mediante una función de competitividad, la cual depende de dos variables pertenecientes a una función linear.

Como resultado se obtuvo que un determinado umbral de competencia es necesario para que las especies exóticas dominen frente a las nativas, y que no necesariamente las especies con mayor grado de competitividad acaban dominando una región. Además, se observó que las colonizaciones dadas por especies exóticas no necesariamente implica un total desplazamiento de las especies nativas, sino que sólo se hace necesario alcanzar un determinado equilibrio de coexistencia de ambas especies para el inicio de su éxito en el medio.

**DINAMICA—a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. Britaldo Silveira Soares-Filho, Gustavo Coutinho Cerqueira, Ca ´ssio Lopes Pennachin.**

Se muestra la aplicación de DINAMICA, un software desarrollado en C++, presentado para sistemas que trabajen en Windows de 32 bites, para la simulación de cambios de usos del suelo en el Amazonas y estudio del efecto del aclareo de los bosques, de cultivos y del abandono de los territorios, viendo el efecto de la sucesión de vegetación. Empleando información de un periodo de ocho años, los mapas de simulación se compararon con imágenes clasificadas mediante teledetección.

DINAMICA emplea como *input*  un mapa del paisaje, dando como *output* mapas simulados y mapas de transición entre ambos. Para realizar las simulaciones, el modelo trabaja en diferentes etapas, teniendo cada una sus propios parámetros: el número de fases; la matriz de transición, con sus parámetros fijados en cada etapa del proceso; valores de saturación para cada tipo de uso y cobertura del suelo; el mínimo tiempo de permanencia de cada tipo de celda antes de cambiar de estado; los coeficientes del modelo logístico aplicado para calcular el valor de cada celda; el porcentaje de transiciones dadas por cada función de transición. Ya que cada una de las etapas tiene parámetros modificables, el modelo puede ser corrido de diferentes formas, estudiando el efecto de las distintas variables en el resultado final.

Los resultados mostraron buena relación con la información obtenida mediante teledetección, observando cómo de forma general se ajustaban las predicciones a los resultados así vistos. De este modo, se propone la utilización de esta aplicación en la evaluación de la fragmentación de hábitats producida por procesos de colonización del paisaje.

**Conclusiones**

Los autómatas celulares aparecen, por tanto, como herramientas de enorme utilidad y potencial para la elaboración de modelos predictivos de distribución de especies, pero que debe ser tratada con cautela, debido a la gran cantidad de situaciones que no son planteadas. Si bien las ventajas que presentan estos modelos son múltiples, debiendo destacar la relativa sencillez de implementación y el amplio abanico de escenarios que permiten representar, debe mencionarse que en esta misma sencillez aparecen las fallos. Estas carencias aparecen a la hora de evaluar estos modelos en condiciones cambiantes en las cuales los estados evaluados no sean deterministas, presentando variabilidad en el tiempo. Así, el planteamiento de procesos estocásticos no se hace posible en estos modelos, de forma que muchos de los posibles estados que podrían llegar a presentarse en la realidad se tornan imposibles de plantear.

**Referencias bibliográficas**

Arii, K., & Parrott, L. (2006). Examining the colonization process of exotic species varying in competitive abilities using a cellular automaton model. *Ecological Modelling*, *199*(3 SPEC. ISS.), 219–228.

Balzter, H., Braun, P. W., & Kohler, W. (1998). {C}ellular automata models for vegetation dynamics. *Ecological Modelling*, *107*, 113–125.

Dytham, C., (1995). The Effect of Habitat Destruction Pattern on Species Persistence: a Cellular Model. *OIKOS* 74: 340-344.

Flamm, R.O. & Turner, M.G., (1994). Alternative Model Formulations for a Stochastic Simulation of Landscape Change. *Landscape Ecology* 9: 37-46.

Green, D.G., (1989). Simulated Effects of Fire, Dispersal and Spatial Pattern on Competition within Forest Mosaics. *Vegetation* 82: 139-153.

Kareiva, P. & Wennergren, U., (1995). Connecting Landscape Patterns to Ecosystem and Population Processes. *Nature* 373: 299-302.

Ruxton, G.D. (1996). Effects of the Spatial and Temporal Ordering of Events on the Behaviour of a Simple Cellular Automaton. *Ecological Modelling*, 84: 311-314.

Phipps, M.J., (1992). From Local to Global: The Lesson of Cellular Automata. In: DeAngelis, D.L. and Gross, L.J. (Editors), Individual-Based Models and Approaches in Ecology: Populations, Communities and Ecosystems. Chapman and Hall, New York, pp. 165-187.

Soares-Filho, B. S., Coutinho Cerqueira, G., & Lopes Pennachin, C. (2002). DINAMICA - A stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, *154* (3), 217–235.

Wiegand, T., Milton, S.J. & Wissel, C., (1994). Ein räumliches Simulationsmodell für eine Pflanzengemeinschaft in der südlichen Karoo, Südafrika. *Verh der Ges f Ökol* 23: 407-416.

Wilkie, D.S. and Finn, J.T., (1988). A Spatial Model of Land Use and Forest Regeneration in the Ituri Forest of Northeastern Zaire. *Ecological Modelling*, 41: 307-323.