

Autómatas celulares que simulan el crecimiento de la mancha urbana

Jiménez-López E.^a

^aEl Colegio Mexiquense A.C.
Toluca, Estado de México, México.
*ejimenez@cmq.edu.mx

RESUMEN:

Este trabajo simula la expansión de ciudad de San Luis Potosí con Autómatas Celulares (AC) en un entorno experimental en el periodo 2005-2020. El objetivo es explicar si el modelo de AC es capaz de simular la expansión de la mancha urbana, con el fin de realizar proyecciones adecuadas hacia el futuro. Mediante un Modelo de AC que identifica Regla de Transición más precisa de los AC deterministas para simular la expansión urbana de la ciudad bajo experimentación, se utiliza el Filtro inverso que nos da una certeza de un buen ajuste en las imágenes satelitales y los resultados de las simulaciones del Modelo de AC resultaron muy alentadoras y demostró una gran rapidez de procesamiento de información numérica y visual.

PALABRAS CLAVE: Autómatas Celulares; Mancha Urbana; Expansión.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo es de carácter metodológico y experimental. Se explica el modelo de Autómatas Celulares tratando de demostrar la capacidad que tienen para simular con mucha precisión el crecimiento de la ciudad de San Luis Potosí, a lo largo de 15 años. La ciudad es de interés ya que registra una población para 2020 de más de un millón de habitantes. Las simulaciones se realizaron en un software desarrollado en El Colegio Mexiquense denominado CHRISTALLER®, que conjuga sistemas de información geográficos, programación y modelos matemáticos.

Los AC constituyen un método discreto que cuantifican valores enteros en intervalos regulares, que modelan la evolución de fenómenos dinámicos, como la expansión de las ciudades en tiempo y espacio. Los AC que se utilizan son de tres bits, con ello se pueden generar 256 reglas de transición o instrucciones de vecindad que evolucionan en sistemas complejos. Se identifica la mejor regla que modele con una alta precisión la expansión de la ciudad con la ayuda del filtro inverso [1], con esto se explora de una manera condicional el crecimiento futuro de la mancha urbana.

El Sistema de AC presenta múltiples componentes o unidades de interacción, lo que asemeja a la ciudad como sistema complejo. Registra otras características básicas de un sistema complejo, es dinámico, registra fuerte conexión de vecindad espacial y presenta en un grado alto autosimilaridad [2]. La autosimilitud es la presencia de estructuras espaciotemporales que siguen patrones al realizar una inspección más detallada del todo a lo cual se está analizando. Diversos fenómenos urbanos registran autosimilaridad como el crecimiento y morfología urbana, el comportamiento de la economía en la ciudad, los cambios de uso de suelo, entre otras [3].

AUTOMATAS CELULARES

Cuando se quiere modelar un proceso en el territorio con AC es conveniente concebir el espacio como una cuadrícula regular en dos dimensiones. Por lo tanto, los AC se pueden

tomar como un arreglo uniforme, cuadrulado, generalmente infinito, formado por objetos idénticos llamados Células. El arreglo puede ser n-dimensional. Un AC se representa a través de una función como se muestra en la ecuación (1).

$$AC = (L, S, V, \delta) \quad (1)$$

Donde L es la cuadrícula regular, S es el conjunto finito de todos los posibles estados que pueden tomar las células, V es el conjunto finito de células que definen las relaciones espaciales entre ellas y δ es una función de transición aplicada a las células en cada lapso de tiempo (Regla de transición). La parte de mayor importancia en los AC son las Reglas de Transición que son las instrucciones que representan la evolución del proceso que se quiere modelar. Las reglas pueden ser deterministas o estocásticas, sencillas o altamente elaboradas. Las reglas son fijas, pero algunas aplicaciones las reglas evolucionan para modelar un cierto proceso y es cuando los AC se transforman en Agentes.

RESULTADOS

Lo obtenido en el ejercicio experimental se enfocó en la ciudad de San Luis Potosí (Figura 1), para el periodo 2005-2020. Las imágenes satelitales de LandSat 3 y 8 que utilizamos como referente de contraste para los resultados del modelo de AC corresponden a 2005 y se muestran en la Figura 1 a). La imagen para 2020 se muestra en la Figuras1 b). Estas imágenes satelitales de LandSat son los mapas base con los cuales el Modelo del AC trabaja como datos de entrada. Estamos trabajando con tres bits, por tanto, tenemos 256 Reglas de Transición. El software de Filtro Inverso hace un barrido completo de las 256 Reglas de Transición, estima los indicadores de bondad de ajuste e identifica la Regla de Transición que mejor replica la expansión de la mancha urbana de cada ciudad en el periodo de experimentación. Se realiza la simulación de la mancha urbana para 2020 en la ciudad de estudio (prueba de que realiza bien su trabajo el modelo), con la Regla de Transición más precisa. Para San Luis Potosí la regla 218 mostró el mejor ajuste entre las imágenes satelitales y la proyección del modelo de AC.

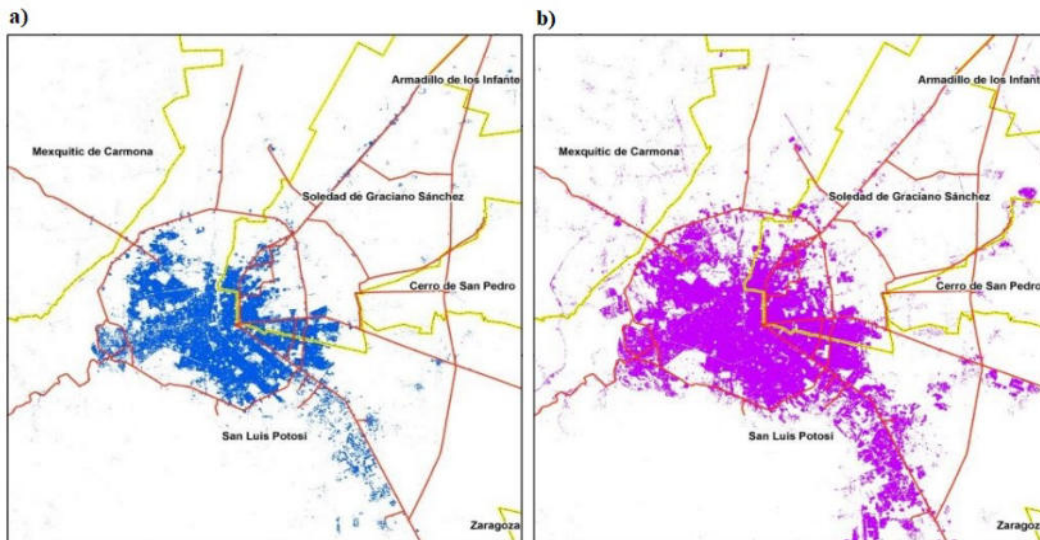


Figura 1. San Luis Potosí, Mapas Satelitales 2005-2020.

En este modelo programado fue capaz de manejar archivos masivos e imágenes de alta resolución. Las imágenes satelitales de la ciudad de San Luis Potosí contenían alrededor de siete millones de píxeles. Considerando la magnitud de la información, el barrido exhaustivo de las Reglas de Transición, la estimación iterativa con el Filtro inverso para encontrar la mejor regla y la generación automatizada de los mapas de las simulaciones y

las proyecciones, podemos considerar que el desempeño del Modelo del AC es de alta eficiencia. Par un periodo similar de simulación (15 años), al 2035 se muestra en la Figura 2.

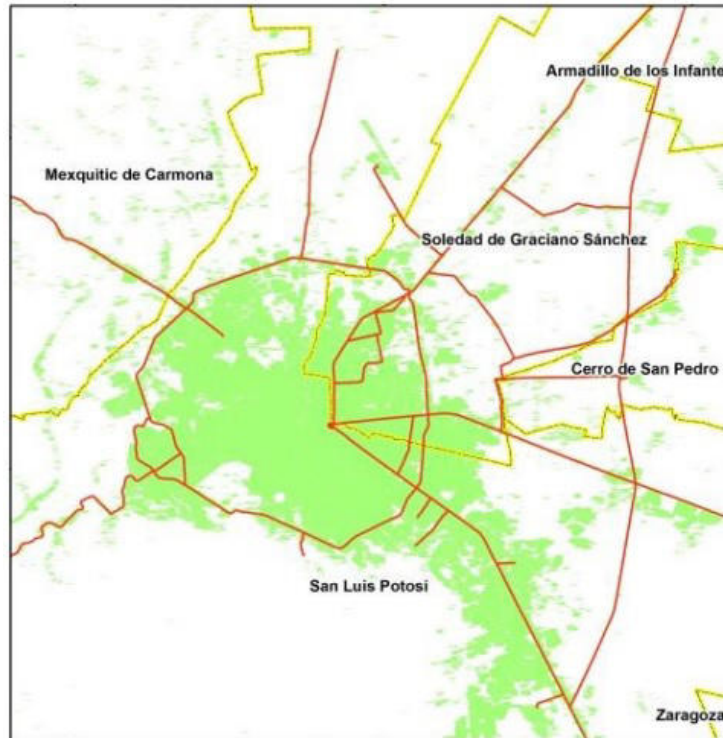


Figura 2. San Luis Potosí, Mapa generado por el modelo de AC 2035.

REFERENCIAS:

- [1] Jiménez-López, E. (2022). Inverse Filter in the Growth of Urban Sprawl with Cellular Automata Model. In *Complex Systems and Their Applications* (pp. 231-247). Springer, Cham.
- [2] Wolfram, S. (1984). Cellular automata as models of complexity. *Nature*.311(5985), 419-424.
- [3] Polidori, M. C.; Saraiva, M. V. P.; Peres, O. M.; Toralles, C. P.; Tomiello, F. (2015). Los bordes de la ciudad y la simulación del crecimiento urbano con autómatas celulares. *Ciencias Espaciales*. 8(2), 357-370.