

SIMULACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO PREHISPANICO EN UN SISTEMA AGRÍCOLA DE ROZA, TUMBA Y QUEMA.

Laura Alfonsina CHANG-MARTINEZ ^a, Jean- François MAS^a

^aCentro de Investigaciones en Geografía Ambiental,

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hacienda de San José de La Huerta, CP 58190
Morelia Michoacán México

lchang@pmip.unam.mx

RESUMEN

El uso de modelos de simulación de los cambios de cobertura / uso del suelo (CCUS) permite entender los procesos de cambio que se llevaron a cabo en el pasado. Con estos modelos es también posible evaluar y proyectar la evolución del paisaje debido a los CCUS bajo diferentes escenarios. Este trabajo se apoya principalmente en registros arqueológicos para explorar los efectos del sistema agrícola roza, tumba y quema (en periodo prehispánico), la modelación se hace utilizando el software DINAMICA simulando dos tipos de distribución de asentamientos y su efecto en la obtención de recursos con respecto a la densidad poblacional, así el modelo toma en cuenta la presencia humana y su requerimientos mínimos necesarios para sobrevivir anualmente. El sistema roza, tumba y quema era la práctica comúnmente usada, razón por la cual el modelo fue diseñado para simular este tipo de práctica. Inicialmente el mapa de probabilidad de cambio se obtuvo a partir de combinar el mapa de vegetación y el mapa de distancia a los asentamientos. Luego se simularon dos transiciones de forma sistemática: el abandono de la milpa después de tres años de cultivo y el periodo de barbecho (obtenido de literatura). El modelo permite diferenciar la obtención del recurso según el tipo de distribución de los asentamientos. Finalmente el modelo simula los efectos del crecimiento y de las necesidades de la población. Así entonces la zona agrícola crece conforme la población incrementa, al involucrar la distribución de asentamientos el modelo modifica el paisaje donde se colocan las parcelas.

Palabras clave: Modelación, CCUS, densidad poblacional, sistema agrícola, pueblo prehispánico.

Using simulated models of coverage changes / land use (CCUS) allows us to understand the processes of change that took place in the past. With these models it is possible to evaluate and project the evolution of the landscape due to CCUS under different scenarios. This work is mainly supported by archaeological records to explore the effects of the agricultural system “slash and burn” (in the pre-Hispanic period). Modeling is done using the software DYNAMIC, simulating two types of settlement distributions and their impact on obtaining resources considering the population density. Therefore the model takes into account human presence and the minimum requirements for their annual survival. The slash and burn system was commonly used, which is why the model was designed to simulate this kind of practice. Initially the probability map of change was derived from combining the vegetation map and the map of the settlements distance. Two types of transitions were simulated systematically: the abandonment of cornfields after three years of cultivation and a fallow period (obtained from literature). The model differentiates the method of obtaining resources by the type of settlement distribution. Finally, the model simulates the effects of growth and the needs of the population. Therefore the agricultural area grows as the population increases, considering the distribution of settlements, the model changes the land use where plots are placed.

Keywords: Modeling, CCUS, population density, agricultural system, pre-Hispanic people.

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas como la tala, la agricultura o el manejo del fuego, provocan cambios en los atributos ambientales, incluyendo calidad y cantidad de los recursos disponibles y pueden verse reflejados en los procesos y funciones de los ecosistemas (Galicia et al., 2007; Lambin et al., 2003).

Aunado se ha encontrado en diversas investigaciones la hipótesis de que el territorio no siempre puede soportar las necesidades de las poblaciones ante un elevado crecimiento poblacional y el impacto del CCUS (Axtell et al., 2002; Bithell and Brasington, 2009). Ante esta situación es posible plantearse entender los sistemas agrícolas del pasado y su comparación con las poblaciones de las antiguas ciudades prehispánicas. La información acerca del CCUS del pasado, ayuda a la comprensión del cambio actual y sus consecuencias. Si es posible averiguar las implicaciones del CCUS y la poblaciones pasadas es posible comparar con escenarios futuros para lo que ocurre actualmente en donde reportan que en muchas regiones del mundo la cobertura forestal se está perdiendo y/o degradando de forma acelerada, principalmente en las últimas décadas y en las regiones tropicales (2007).

El NRC propuso una clasificación de los enfoques de modelación basada en criterios metodológicos y la aplicación de la modelización, las bases teóricas y empíricas, las técnicas de investigación y de obtención de datos desarrollados por cada método de modelación. Las cinco categorías presentan un gradiente los modelos basados en patrones pasando por los econométricos, hasta los modelos basados en agentes, estos últimos interesados mayormente en explicar los procesos que llevaron al cambio (NRC, 2013).

El enmarcar a los modelos de CCUS en enfoques conceptuales permite un mejor entendimiento y aprovechamiento de los modelos de cambio de cobertura/uso de suelo como herramienta para simular proyecciones a futuro y explicar procesos de cambio. Aquí se explica rápidamente los dos enfoques más usados.

Los modelos basados en patrones utilizan datos de percepción remota y de censos para

simular los CCUS a través de la parametrización de las transiciones de una categoría de CUS a otra, en un análisis espacial de los cambios a través de la comparación de dos mapas de CUS históricos. El mapa y la matriz de cambio resultantes permiten estimar los patrones y procesos de cambio (tipos de transiciones y tasas de cambio). El análisis de los cambios pasados en relación con variables explicativas (típicamente variables como pendiente, accesibilidad, protección, densidad y características de la población) permite mapear la probabilidad de las diferentes transiciones (Mas et al., 2012).

Los modelos orientados a actores (o agentes) se basan generalmente en encuestas, que representan a los actores de los CCUS de forma explícita mediante la simulación de las tomas de decisión (Anselme et al., 2010; Lagabriele et al., 2010; Parker et al., 2003). Ambos enfoques se pueden eventualmente combinar (véase, por ejemplo Castella y Verburg, 2007)(Castella and Verburg, 2007).

La modelación también se puede hacer hacia el pasado los modelos de patrones tienen su fundamento en la arqueología y otras ciencias que se encarga de recopilar la información necesaria para que estos modelos sean desarrollados, por lo general tienen aproximaciones de tasas de densidad poblacional y tasas de área deforestada para uso agrícola necesaria para abastecer a la poblaciones existentes para entonces, insumos que ayudan a calibrar los modelos (Etter, 2013; Yu et al., 2012). Los modelos basados en agentes también se pueden modelar en el pasado, por ejemplo en la cultura "Anasazi" se desarrolló un modelo basado en agentes que es utilizado para estudiar procesos ecológicos, económicos, sociales y políticos del pueblo prehispánico "Anasazi" que se encontraba en el suroeste de EE.UU. en el contexto de un medio natural dinámico (Axtell et al., 2002; Kohler et al., 2011).

Este estudio pretende evaluar el aporte de la modelación espacial a la comprensión de la evolución de los paisajes en el pasado, entrenando la dinámica poblacional con el sistema agrícola tradicional de las culturas prehispánicas. Para ello, se modelarán los CCUS a partir de datos arqueológicos sobre

estimaciones poblacionales y de sistema agrícola de la cultura prehispánica Maya y así poder reconstruir la dinámica del paisaje a través de la modelación.

2. METODOS

2.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo de CCUS hace una simulación espacialmente explícita que se enfoca en la producción de escenarios de cambios, basados en un análisis de los datos pasados en combinación con diferentes opciones estratégicas, como la aplicación de herramientas de conservación, la intensificación de la agricultura, la redistribución de los subsidios al sector de producción y otros factores que se expresen en el sistema agrícola (Mas et al., 2012; Mas and Sandoval, 2011).

La modelación espacial de la probable ocupación del territorio del reino Maya de Calakmul; se generó con base en diferentes hipótesis (Gutiérrez, 2009), sobre la población como densidad y distribución así como el rendimiento agrícola anual por persona, este último estimando para diferentes prácticas agrícolas (métodos de intensificación, rendimientos y pérdidas de rendimiento con el tiempo, alternancia de los periodos de producción y descanso) utilizadas en la región (Culbert, 1995), esto nos permitirá entender mejor los paisajes “probables” correspondientes a cada escenario (por ejemplo la proporción de bosques y áreas agrícolas, el aumento de bosques secundarios, etc.) y aportar elementos a la evaluación de la evolución del paisaje en el tiempo y de las causas posibles del colapso en el caso de Calakmul (Diamond, 2006; Folan et al., 2001).

2.2 MATERIALES

El modelo se desarrolló con DINAMICA, (<http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>) una plataforma para simular en ambientes espaciales. DINAMICA (fue originalmente diseñado para modelar deforestación, el cual evolucionó permitiendo un enfoque orientado a patrones, pero es suficientemente flexible para poder integrar conocimiento experto y reglas orientadas a agentes.

También se utilizaron otros programas computacionales de sistemas de información

geográfica (ArcGIS, IDRISI, Q-GIS), de modelación Land Change Modeler en IDRISI), y de análisis estadístico (R).

2.3 SIMULACIÓN DE CAMBIO DE USO DEL SUELO.

Para reconstruir el cambio de uso de suelo de la población de Calakmul (Fig.1) se realizó un modelo dentro de un contexto espacial hipotético, donde las capas de entrada simulan una superficie hipotética con la que se construyó un mapa de probabilidad de cambio. Las capas de entrada se representan un área de 250 000 Ha. Se generaron tres capas: la vegetación con dos categorías, (1) Selva, y (2) Pantano/bajo, generadas a partir del MDE (Modelo Digital de Elevación) de México, la segunda capa es de las localidades generadas al azar en el tipo de vegetación de selva que se considera cultivable y la tercera es de las distancias de estas localidades hacia cualquier punto, esta capa también fue utilizada para modelar obtener la distancia a los pueblos.

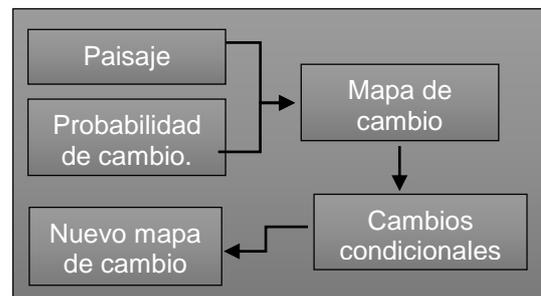


Figura 1. Estructura básica del modelo.

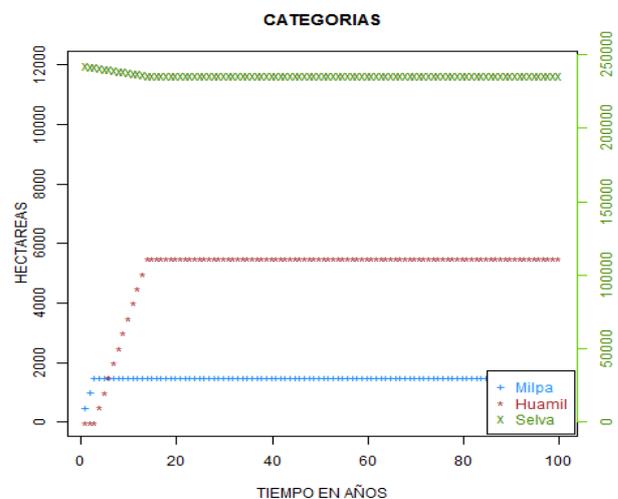


Figura 2. Comportamiento del modelo proporción, milpa, huamil, selva.

A partir de las capas de entrada se hizo el mapa de probabilidad que alimentan al modelo, el modelo hace un cambio anual dado por la probabilidad de cambio; la probabilidad de cambio está establecida a partir de las distancias a los asentamientos, el tipo de vegetación en el paisaje inicial y las distancia a los asentamientos.

El modelo tiene tres transiciones: 1) Selva a Cultivo, 2) Cultivo a Huamil (periodo de descanso) y 3) Huamil a Bosque. La cantidad (área anual) de la primera transición depende del tamaño de la población (necesidades de producción de maíz). Las otras dos transiciones son sistemáticas y condicionales donde toma el tiempo dentro de los parámetros de la agricultura (ej. Un bosque que tiene tres años de cultivo y que se le deja descansar (huamil) 15 años para pasar nuevamente a ser Selva. Todos los lugares donde el bosque es talado dependen del mapa de probabilidad. La deforestación es más probable si tienes pendientes bajas, mejores suelos y sitios más cercanos a los pueblos (Fig. 2).

4. RESULTADOS

4.1 SIMULACIÓN DE POBLACIÓN DINÁMICA.

El sub-modelo de población simula el crecimiento poblacional retroalimentado con la producción de cultivo esto es: si el modelo no tiene suficiente área para mantener a la población el área de cultivo crece, y si la población aumenta crece la demanda de cultivo y si los recursos no permiten producir la cantidad de maíz requerida por la población esta deja de crecer o inclusive disminuye

En la figura 3 se muestran los resultados cuando el modelo principal se une al modelo de población dinámica que genera la milpa, al colocarle las prácticas agrícolas en conjunto con el crecimiento poblacional vemos que la cantidad de milpa en conjunto con la cantidad de huamil crecen a través del tiempo no así con el bosque este disminuye con el tiempo.

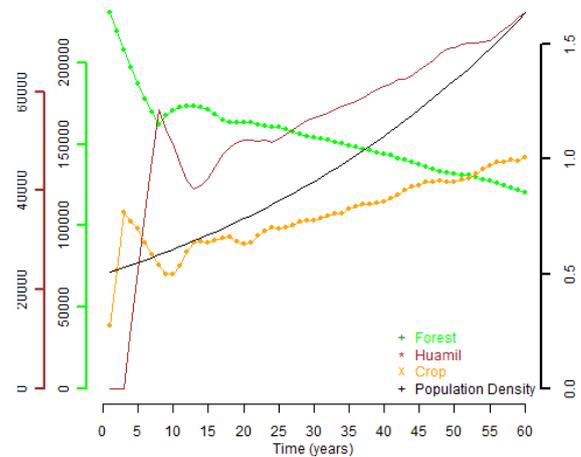


Figura 3. Distribución de los cambios vs crecimiento poblacional.

4.2 SIMULACIÓN DE POBLACIÓN DINÁMICA Y DISTRIBUCION DE ASENTAMIENTOS.

Los distintos tipos de asentamiento: Concentrados (Figura 4) y Dispersos (Figura 5) generan diferencias claras en la distribución de la milpa (Gutiérrez, 2009). El modelo siempre tiene mayor probabilidad cerca de los asentamientos, pero en el caso del modelo con asentamiento disperso las zonas de tala funcionan como parches que se conectan. En el caso de los asentamientos concentrados están tan cerca un asentamiento de otro que es difícil que existan zonas intactas entre los asentamientos.

El modelo funciona conjuntamente con la población dinámica y los dos tipos de asentamientos, la distribución de las categorías está determinada por la necesidad poblacional y la distribución por el mapa de probabilidad.

3. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Uno de los principales objetivos de la modelación es mejorar la comprensión de la interacciones entre el cambio y diversos procesos, ambientales, ecológicos y sociales. Apoyando a la toma de decisiones y en general a problemas que afectan la cobertura terrestre (Chang-Martínez et al., 2015). El modelar los sistemas de cambio del ayuda a evaluar opciones de cambio y uso más sustentables. El modelo recreado funciona como un ejemplo en el que el crecimiento poblacional interviene directamente en la cantidad de los recursos disponibles (en este caso suelo disponible). El modelo también muestra que la distribución de los asentamientos, en este caso previa al CCUS, y cambiante es una variable importante de considerar las consecuencias del cambio, la disponibilidad del recurso será diferente si los pueblos están cerca o lejos entre ellos. En este caso la tierra disponible y que se puede regenerar durante el periodo de descanso tiene una relación con la cantidad de milpa que hay a su alrededor ya que entre más conservado este el campo circundante mayor será el porcentaje de renovación cuando hay un bosque natural que provee de material de mayor fertilidad que suelo erosionado de otra parcela (Barrios and Quiñonez, 2000)

Adicionalmente el modelo tiene como objetivo simular un descenso de la funciones del ecosistema Un siguiente modelo simulará la erosión como pérdida de suelo (encontrando erosión más grave en áreas abiertas como tierras de cultivo y zonas con mayor pendiente). El área estará más erosionada si ha existido más una parcela de milpas que si es la primera vez que se cosecha en ella.

La información que se puede obtener de este tipo de modelación aunado con la información arqueológica es clave para entender las consecuencias a largo plazo de la acción humana, y hace posible derivar modelos complejos e interdisciplinarios en los que interactúan múltiples relaciones.

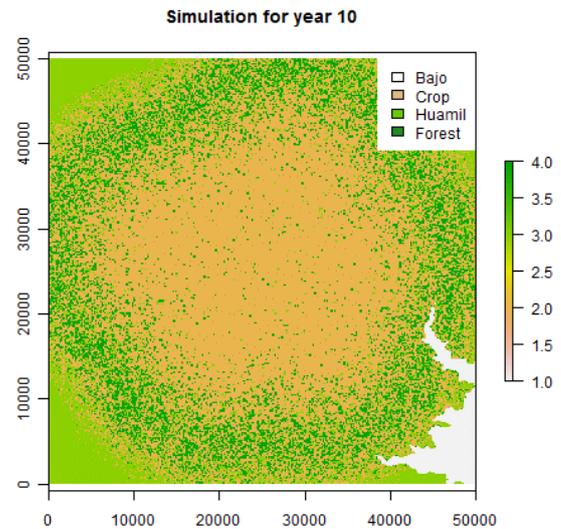


Figura 4. Distribución de pueblos concentrados.

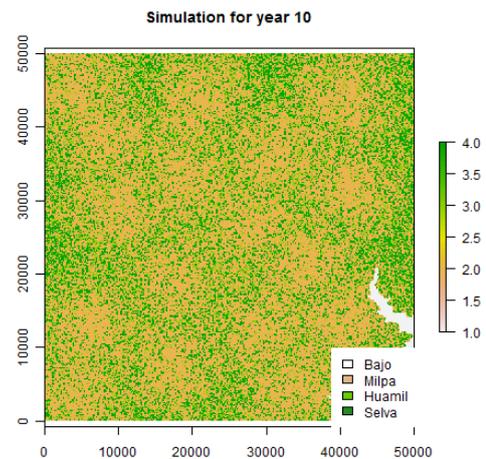


Figura 5. Distribución de pueblos dispersos.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Educación Pública y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento del proyecto ¿Puede la modelación espacial ayudarnos a entender los procesos de cambio de cobertura/uso del suelo y de degradación ambiental? (SEP-CONACyT

CB-2012- 01-178816), en el que está incluida esta investigación.

Y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la Beca N°. 239247 otorgada.

REFERENCIAS

Galicia, L., *et al.* (2007) Cambio de uso del suelo y degradación ambiental. *Ciencia*, 50-60

Lambin, E.F., *et al.* (2003) Dynamics Of land-Use And land-Cover change In tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources* 28, 205-241

Axtell, R.L., *et al.* (2002) Population growth and collapse in a multiagent model of the Kayenta Anasazi in Long House Valley. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99 Suppl 3, 7275-7279

Bithell, M. and Brasington, J. (2009) Coupling agent-based models of subsistence farming with individual-based forest models and dynamic models of water distribution. *Environmental Modelling & Software* 24, 173-190

Duran-Medina, E., *et al.* (2007) Cambios en las coberturas de vegetación y usos de suelo en regiones con manejo forestal comunitario y áreas naturales protegidas de México. In *Los bosques comunitarios de México. Manejo sustentable de los paisajes forestales* (Bray, D., *et al.*, eds), pp. 267-299, SEMARNAT. Instituto de Geografía-UNAM

NRC (2013) *Advancing Land Change Modeling: Opportunities and Research Requirements*. The National Academies Press

Mas, J.-F., *et al.* (2012) Assessing simulated land use/cover maps using similarity and fragmentation indices. *Ecological Complexity* 11, 38-45

Parker, D.C., *et al.* (2003) Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. *Annals of the Association of American Geographers* 93, 314-337

Anselme, B., *et al.* (2010) Modelling of spatial dynamics and biodiversity conservation on Lure mountain (France). *Environmental Modelling & Software* 25(1), 1385-1398

Lagabriele, E., *et al.* (2010) Modelling with stakeholders to integrate biodiversity into land-use planning e Lessons learned in Téunion Island (Western Indian Ocean). *Environmental Modelling & Software* 25(11), 1413-1427

Castella, J.C. and Verburg, P.H. (2007) Combination of process-oriented and pattern-oriented models of land-use change in a mountain area of Vietnam. *Ecological Modelling* 202, 410-420

Yu, Y., *et al.* (2012) Reconstructing prehistoric land use change from archeological data: Validation and application of a new model in Yiluo valley, northern China. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 156, 99-107

Etter, A. (2013) Las transformaciones de uso de la tierra y los ecosistemas durante el período colonial en Colombia (1500-1800). In *La economía colonial de nueva granada* (Meisel, A. and Ramírez, M.T., eds), pp. 48, TM Editores y Banco de la República, Bogotá

Kohler, T.A., *et al.* (2011) *The coevolution of group size and leadership: An agent based public goods model for prehispanic pueblo societies*. SANTA FE INSTITUTE

Mas, J.F. and Sandoval, A.F. (2011) Modelación de los cambios de cobertura/uso de suelo en una región tropical de México. *GeoTrópico* 5 (1), 1-24

Gutiérrez, M.d.G.Z. (2009) De la agroecología Maya a la arqueología demográfica: ¿Cuántas casas por familia? *Estudios de cultura Maya* XXXVIII, 97-120

Culbert, T.P. (1995) Población, subsistencia y el Colapso de los Mayas del Clásico. In *Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala* (Laporte, J.P. and Escobedo, H., eds), pp. 666-672, Museo Nacional de Arqueología y Etnología

Folan, W.J., *et al.* (2001) "*Triadic Temples, Central Plazas and Dynastic Palaces: A Diachronic Analysis of the Royal Court Complex, Calakmul, Campeche, México*" Westview Press

Diamond, J. (2006) *Colapso: Por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen.*

Chang-Martínez, L.A., *et al.* (2015) Modeling Historical Land Cover and Land Use: A Review from Contemporary Modeling. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 4, 1791-1812

Barrios, A.G. and Quiñonez, E. (2000) Evaluación de la erosión utilizando el modelo (R) USLE, con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los Andes Venezolanos. *Revista Forestal Venezolana* 44, 2000