

Cambio de uso del suelo y degradación ambiental

Leopoldo Galicia, Arturo García Romero,
Leticia Gómez-Mendoza y M. Isabel Ramírez

La degradación de los recursos forestales en México

México es uno de los países con más recursos forestales a nivel mundial. Sus bosques, selvas y otras áreas con vegetación natural ocupan aproximadamente 74 por ciento del territorio nacional (1 millón 461 mil kilómetros cuadrados). De éstos, 700 mil corresponden a bosques y selvas, 575 mil a matorrales y 186 mil a otros tipos de vegetación.

Los ecosistemas forestales son de importancia estratégica debido a la gran diversidad de especies que albergan; así como por los servicios ambientales que ofrecen (la estabilización de los suelos y su potencial de captura de carbono, la regulación del ciclo hídrico y el clima, etcétera).

En nuestro país los bosques de pino y encino son ecosistemas más ricos en especies que los de su contraparte en Europa y Norteamérica. Por ejemplo, en nuestros bosques hay alrededor de 50 especies de pinos (muchas de ellas maderables), que representan el 50 por ciento del total a nivel mundial, y 170 especies de encinos, que también representan más del 50 por ciento del total a escala mundial.

Se ha sugerido que este ecosistema podría haber cubierto cerca del 20 por ciento del territorio nacional (384 mil 509 kilómetros cuadrados), del cual alrededor del 5 por ciento es ocupado por bosques de encinos, 14 por ciento por bosques de pino-encino y 1 por ciento por otras coníferas. Sin embargo, históricamente los bosques de pino y encino han sufrido una rápida

disminución en extensión y número de especies. Debido a esto, actualmente, la superficie cubierta por bosques de encinos, bosques mixtos y bosques de pino en el país alcanza sólo alrededor del 17 por ciento del territorio, y tienen una tasa de deforestación anual promedio mayor de 0.5 por ciento.

Respecto a los ecosistemas tropicales, el 25 por ciento del territorio nacional son selvas húmedas y secas. Las selvas húmedas son las más productivas y diversas de México: ocupan el 11 por ciento del territorio (entre 200 mil y 220 mil kilómetros cuadrados). Sin embargo, se considera que actualmente sólo queda el 10 por ciento de su distribución original (20 mil kilómetros cuadrados), debido a la extracción de maderas preciosas (como la caoba) y la destrucción de hábitat para dar lugar a la introducción de las actividades agropecuarias.

Por otro lado, la cobertura potencial de la selva baja caducifolia en México es aproximadamente del 14 por ciento de la superficie del país (276 mil 166 kilómetros cuadrados), lo que la convierte en el más extenso de los ecosistemas forestales tropicales. Sin embargo, este tipo de vegetación es de los más deforestados; por ejemplo, se ha documentado que se pierden 650 mil hectáreas de estas selvas por año; específicamente, desde el comienzo de los ochenta se pierde alrededor del 2 por ciento anual.

A pesar de la importancia ecológica y económica de los ecosistemas forestales, no existe un sistema de monitoreo de los cambios de uso de suelo, sus causas, explicación y predicción. No obstante que existen escasos estudios sobre las tasas de deforestación de los

principales ecosistemas forestales a nivel nacional, diversas fuentes reconocen que estas tasas no han sido constantes ni homogéneas en el espacio ni en el tiempo, como consecuencia de la heterogeneidad espacial de las características físicas, políticas, sociales, culturales y climáticas. Debido a lo anterior, es indispensable realizar estudios de las causas, consecuencias y variación espacial y temporal de la deforestación, así como de los cambios de uso del suelo en el país, que nos permitan una mejor planeación para conservar, restaurar y manejar nuestros diversos y abundantes recursos forestales.

Consecuencias ambientales de la deforestación

La deforestación y otros cambios de uso de suelo son las principales causas de pérdida de los recursos forestales y degradación ambiental en escalas locales, regionales y globales. Estos procesos son causados por factores tecnológicos, económicos, políticos, sociales y culturales (Cuadro 1).

La pérdida de la vegetación natural influye directamente en la pérdida de hábitat y de especies, la pérdida de valores culturales y estéticos, la reducción de los recursos forestales, el incremento en la erosión y la pérdida de la fertilidad del suelo. Además, contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, CO₂; óxido nitroso, N₂O; metano, CH₄). De hecho, se ha considerado que los cambios de uso del suelo influyen indirectamente en la desertificación, las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera y el cambio climático (Cuadro 2). Por ejemplo, la deforestación de los trópicos contribuye con el 35 por ciento de las emisiones de carbono a la atmósfera (1.6 petagramos –billones de kilogramos– de carbono al año) a escala global. Asimismo, la pérdida de la cobertura forestal reduce la capacidad de almacenar una gran cantidad de carbono en su biomasa (550 petagramos de carbono al año). Por lo tanto, el conocimiento de los efectos de las actividades del ser humano en los diferentes ecosistemas es básico para entender los desequilibrios y los acelerados procesos de degradación que aquejan a muchos tipos de ecosistemas otros naturales.

Sin embargo, las actividades humanas tienen distintos efectos en la degradación ambiental, debido a que los usos de suelo son diversos y varían en intensidad, duración y extensión. Por lo tanto, la identificación y análisis de los cambios de uso del suelo como factor ecológico y geográfico son fundamentales para entender cómo, dónde y qué tanto se están perdiendo los recursos naturales.

Deforestación y cambios de uso del suelo

Los usos del suelo son diversos (Cuadro 3) y espacialmente heterogéneos. Se distribuyen en com-

Cuadro 1. Causas de la deforestación en la región tropical.

Causas de la deforestación	
1.	Expansión agrícola
2.	Extracción forestal
3.	Expansión de la infraestructura
4.	Extracción de combustible
Conductores de la deforestación	
1.	Demográficos
a.	Incremento de la población
b.	Migración
c.	Aumento de la densidad poblacional
2.	Económicos
a.	Crecimiento del mercado y comercialización
b.	Estructura económica
c.	Urbanización e industrialización
3.	Tecnológicos
a.	Cambios agro-técnicos
b.	Tecnificación en el la extracción forestal
4.	Políticos e institucionales
a.	Políticas formales (desarrollo económico, créditos, etc.)
b.	Ambiente político (corrupción, malos manejos)
c.	Derechos de propiedad
5.	Culturales
a.	Usos y costumbres, creencias
b.	Comportamiento individual

Las causas de la deforestación son los factores que desencadenan la pérdida de cubierta vegetal en el lugar. Los conductores de la deforestación son elementos de la actividad humana que favorecen o intensifican las causas del proceso y ocurren en regiones lejanas.

(Adaptado de Geist y Lambin, 2002. "Proximate casuses and underlying driving forces of tropical deforestation", *Bioscience*, 2, 143-150).

Cuadro 2. Consecuencias de la deforestación.

Biológicas
Pérdida de la diversidad (de ecosistemas, especies y genética)
Cambios en la composición vegetal
Modificación, desaparición o extinción de poblaciones animales
Cambios o pérdidas en la productividad de los ecosistemas
Alteración de la habilidad de los sistemas naturales para soportar las necesidades humanas
Cambios en la acumulación y ciclos de nutrientes
Paisajísticas
Contribuye al calentamiento global
Cambios en el régimen climático regional y local
Aumento en las emisiones de CO ₂
Cambios en el balance hídrico
Degradación y pérdida de suelos
Erosión
Socio-económicas
Alteración de los servicios ambientales
Pérdida de los recursos naturales
Migración
Disminución del ingreso por actividades primarias

plicados patrones espaciales y temporales, por lo que puede resultar conveniente referirse a ellos como grandes grupos de uso del suelo.

Los usos forestales agrupan las actividades que el ser humano realiza en bosques templados, selvas lluviosas y secas, y matorrales; donde se lleva a cabo la extracción de madera y leña, la producción de carbón y el aprovechamiento de flores, frutos, hojas, látex, taninos, fibras, semillas, celulosa y tierra de hoja para uso doméstico y comercial.

Existen también los usos agrícolas, los cuales se refieren al uso que el ser humano da a los suelos al dedicarlos al cultivo. Éstos pueden ser el uso agrícola de temporal o de tipo nómada (maíz, frijol y hortalizas), así como los cultivos permanentes o semipermanentes (plantaciones forestales y agroforestales). Los usos pecuarios o ganaderos se refieren a las actividades que incluyen la cría de ganado; sin embargo, la dimensión espacial del uso y su expresión en el paisaje es variada y depende del tipo de ganado y su intensidad de aprovechamiento.

Otros usos de amplia distribución son los usos urbanos, que se refieren a la creación de infraestructura que el humano realiza para formar sus pueblos y ciudades, incluyendo el uso habitacional, comercial, industrial y de servicios. Finalmente, están los usos mineros, que se basan en la extracción de rocas y metales del subsuelo, favoreciendo la formación de minas subterráneas y canteras.

Cuadro 3. Principales cubiertas y usos del suelo asociados a los tipos de vegetación.

<i>Cubierta del suelo</i>	<i>Uso del suelo predominante</i>	<i>Intensidad del uso</i>	<i>Magnitud del daño al ambiente</i>
Vegetación natural			
Bosques	Forestal/Agrícola	Disperso/Extensivo	Moderado
Selvas	Forestal/Agrícola	Disperso/Extensivo	Moderado
Matorrales	Agrícola/Pecuario	Extensivo	Moderado
Pastizales	Pecuario	Extensivo	Bajo
Vegetación inducida o cultivada			
Cultivos	Agrícola	Extensivo/Intensivo	Moderado/Alto
Pastizales	Pecuario	Extensivo/Intensivo	Moderado/ Alto
Sin vegetación			
Población	Residencial	Intensivo	Muy Alto
Emplazamiento aislado	Industrial/Comercial/Servicios	Intensivo	Moderado/Alto
Canteras	Minero	Intensivo	Moderado/Alto
Erosión	Sin uso	Sin uso	Alto/Muy Alto

Aunado a los procesos de cambio de uso del suelo, el estudio de la dinámica de la vegetación, o *sucesión vegetal*, que se refiere al proceso natural de sustitución de unas comunidades vegetales por otras en el transcurso del tiempo, es fundamental en los estudios de cambios de uso del suelo.

La sucesión puede ser primaria, a partir de superficies desnudas por fenómenos naturales, o secundaria, por recuperación de una comunidad ya establecida después de haber cesado una perturbación sobre ella (tala, incendios, aprovechamientos agrícolas, etcétera). Además de la sucesión como proceso positivo, existen las transformaciones negativas en las cubiertas vegetales (perturbación, deforestación y desertificación) provocadas por el aprovechamiento humano del territorio, el crecimiento de la mancha urbana y el avance de la frontera agrícola. Sin embargo, existen también procesos naturales que causan transformaciones negativas, como huracanes, incendios y otros.

El cambio de uso del suelo: un fenómeno geográfico

La diversidad y heterogeneidad de los procesos de uso del suelo debe ser analizada detalladamente, debido a sus efectos diferenciales sobre el ambiente. La mayor degradación ambiental se alcanza cuando la magnitud de los daños sobrepasa la capacidad de los mecanismos naturales del ambiente (resistencia y resiliencia, o capacidad de recuperarse después de sufrir daños) para regenerar las estructuras y procesos ecológicos que favorecen la permanencia del potencial natural y de los servicios ambientales asociados a los ecosistemas. En la actualidad, los bosques contaminados y debilitados, susceptibles a enfermedades y plagas, forman parte del panorama que refleja la fragilidad e imposibilidad del ambiente para recuperar su estabilidad.

La deforestación y otros cambios negativos de uso del suelo no sólo tienen implicaciones negativas en la cantidad de recursos, sino en su arreglo espacial en el paisaje. En este sentido, la principal consecuencia de la deforestación es la fragmentación, la cual se caracteriza por una disminución en la superficie del área restante, su mayor aislamiento, y un aumento asociado en los efectos del borde.

La fragmentación es un proceso constante y dinámico, cuyos efectos en la estructura del paisaje pueden describirse mediante índices como el porcentaje de hábitat natural, el número de fragmentos, etcétera. Esta fragmentación puede tener efectos de largo alcance en las características estructurales y funcionales del paisaje, y puede tener consecuencias serias para mantener la biodiversidad nativa, lo cual a su vez tiene consecuencias sobre la salud general del ambiente y el bienestar de la humanidad.

En esencia, el cambio en la configuración espacial de los ecosistemas modifica la distribución espacial de los recursos, haciéndolos más inaccesibles y frágiles, con consecuencias en la reducción de la diversidad biológica. Debido a lo anterior, la conservación de los recursos naturales requiere de una perspectiva geográfica que analice los procesos de los cambios de uso del suelo con una visión centrada en su estructura espacial, para generar criterios espaciales para el manejo y la conservación de recursos naturales.



Además, la perspectiva geográfica permite ayudar a entender las causas y consecuencias de los cambios de uso del suelo, debido a que éstos están social, cultural y económicamente determinados. De hecho, diversos autores han sugerido que los cambios de cobertura y uso de suelo están asociados a dos tipos de causas: 1) causas directas, que son la transformación de selvas y bosques para la expansión agropecuaria, la extracción forestal, el incremento en infraestructuras y la extracción de combustible, y 2) causas subyacentes, aquellas que se presentan fuera de la zona de los cambios de cobertura y operan en escalas geográficas amplias.

En este sentido, existen diferentes factores relevantes: a) demográficos: fundamentalmente, incremento de la población y su densidad, y migración; b) económicos: sistema económico, tendencia de los mercados y acceso a los mismos, procesos de urbanización e industrialización; c) cambios técnicos en lo agropecuario

y en el manejo forestal; d) estructura, talante y alternancia política y su consecuencia sobre las instituciones encargadas del medio rural (corrupción o malos manejos desde el gobierno, desconocimiento de formas políticas de comunidades rurales); e) culturales: destacadamente, los usos y costumbres locales, su cosmovisión y el propio comportamiento individual. Por ejemplo, se ha analizado que la implantación de las políticas de colonización de las áreas tropicales fue responsable de la desaparición de cerca de 80 por ciento de las selvas húmedas del país, de modo que en los años setentas las tasas de deforestación alcanzaron cifras de 1.5 millones de hectáreas anuales.

Las causas se centran en la demanda de la tierra por parte de una población que crece de manera incontrastada, así como en el desarrollo científico y tecnológico que le otorgan a la sociedad humana la capacidad de ocupar posiciones cada vez más dominantes dentro de la estructura y dinámica ambiental. Esta situación se agrava al considerar la falta de regulación (a través de zonificaciones, planes de desarrollo, control de la propiedad, etcétera) por parte de los estados y sus consecuencias sobre el uso inadecuado de los recursos forestales.

Así, la magnitud de los daños ha llevado a que, en las últimas décadas, la participación del ser humano en el sistema ambiental sea considerada como tema de primordial importancia. Por otro lado, la documentación de cambios históricos en los modelos de uso de suelo y cobertura del suelo son importantes, porque mantiene el contexto temporal necesario de los estudios ecológicos modernos y de las decisiones de la política para la conservación. Las causas sociales, económicas, políticas y culturales de la deforestación y los cambios actuales de uso de suelo a nivel regional son clave para entender la distribución espacial futura de las comunidades naturales y su vulnerabilidad ante cambios antropogénicos y naturales.

Métodos y modelos de análisis

Las causas y consecuencias de la deforestación y los cambios de uso del suelo requieren ser analizados en diferentes escalas geográficas con técnicas de fotointerpretación, análisis de imágenes de satélite



y trabajo de campo (Figura 1). En la literatura del tema es frecuente encontrar los términos “cubierta”, “cobertura” y “uso del suelo” como sinónimos; por tal motivo, consideramos oportuno hacer una breve revisión de su significado y su aplicación.

Cubierta del suelo (en inglés, *land cover*): es el material o elemento que cubre el suelo, y se refiere a la naturaleza o forma física de la superficie del terreno que puede ser identificada visualmente en campo, o a través de medios de percepción remota.

Cobertura (en inglés, *coverage*): se utiliza especialmente en relación con la vegetación, y se define como el porcentaje del área que cubre en la superficie del suelo la proyección de un tipo de vegetación particular, es decir, la densidad de la cubierta.

Uso del suelo (en inglés, *land use*): expresa el aprovechamiento o los fines económicos que se les da a las diversas cubiertas.

Debido a la confusión que se genera por el hecho de que algunas cubiertas lleven implícito un uso (cultivos/uso agrícola), o varios usos (bosques/uso silvícola,

conservación, recreación), así como por la dificultad en muchos casos de separarlos, en la actualidad es frecuente encontrar estos términos en forma conjunta: “usos y cubiertas del suelo”. Incluso, en la bibliografía en inglés es muy común ver las siglas LULC (*land use-land cover*) para referirse a la unión de ambos términos.

La creciente pérdida de cubiertas de vegetación natural en el planeta ha generado la creación de ecuaciones para determinar estos cambios, con la finalidad de estimar la pérdida de los recursos forestales debida a la deforestación a nivel mundial, nacional o local, y estandarizar los métodos analíticos para evaluar este fenómeno. La aplicación más común de las metodologías de cambio de uso del suelo es la determinación de las tasas de deforestación en un territorio dado.

La metodología para identificar espacialmente los procesos de cambio es muy sencilla, sobre todo si se lleva a cabo en el entorno de un sistema de información geográfica. Consiste en superponer al menos dos mapas de usos o cubiertas del suelo de fechas diferentes y analizar las combinaciones resultantes a través de una *matriz de transición* (Figura 2). Luego se deben revisar y editar los cambios poco probables, que suelen deberse a errores en la interpretación de las cubiertas de cada fecha. Posteriormente se agrupan los cambios que representen un mismo proceso (deforestación, perturbación, sucesión, etcétera) y, de acuerdo con éstos, se hace una clasificación del mapa resultante de la superposición para obtener un mapa con la distribución espacial de cada proceso (Figura 3). Finalmente se evalúa la calidad de los resultados a través de métodos de verificación en campo. La calidad de los resultados depende directamente de la exactitud temática y espacial, así como de la compatibilidad en clases y escalas, de los mapas de cubiertas del suelo de cada fecha.

Así, el cálculo de la deforestación y el cambio de uso de suelo, desde el punto de vista temporal, no es otra cosa que la diferencia de las áreas entre el tiempo inicial y el tiempo final (t_1 y t_2 , respectivamente) en tasas o índices, que significan incrementos o decrementos en dicho intervalo de tiempo. Para estos fines, la Fundación Mundial para la Agricultura y la Alimentación (FAO) emitió en 1995 la *tasa anual de transformación* (q) que se calcula a partir de la ley de interés compuesto: $q = [(área en t_2 - área en t_1)]^{1/(t_2 - t_1)} - 1$.

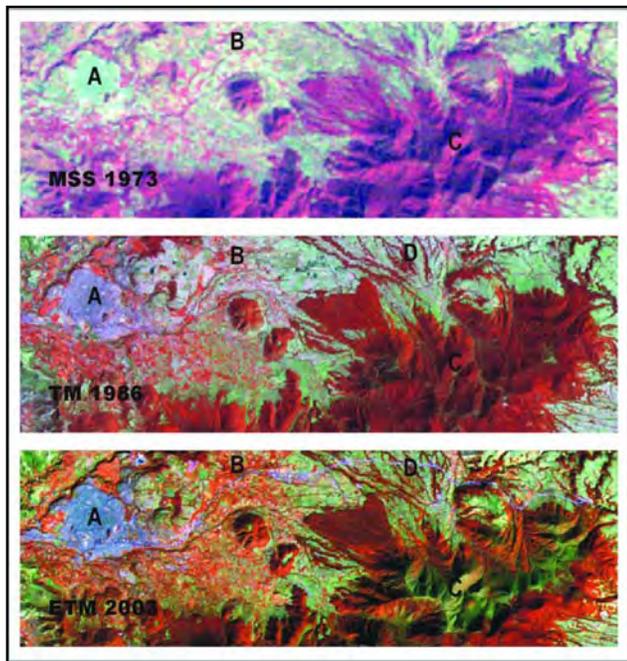


Figura 1. Compuestos en color 432 de imágenes de satélite Landsat MSS, TM y ETM, que muestran cambios en la cubierta del suelo en 1973, 1986 y 2003. **A:** crecimiento de la mancha urbana; **B:** expansión de plantaciones frutícolas; **C:** deforestación; **D:** creación de infraestructura carretera.

Esta ecuación establece el cambio de área de una cubierta forestal o vegetación natural por año. Por otro lado, la ecuación para la *tasa anual de deforestación* (r), fue establecida por Dirzo y García (1992) como $r = 1 - [1 - (\text{área en } t_1 - \text{área en } t_2)]^{1/\text{años}}$.

La complejidad de los factores que determinan el cambio de uso de suelo ha estimulado la generación de modelos globales, regionales y locales para diferentes escalas espaciales y temporales, con la finalidad de entender las causas y consecuencias de dichos cambios.

Los primeros modelos de predicción estimaban cambios en los usos de suelo futuros mediante la utilización de mallas simples de modelos de Markov, que

además permiten estimar la permanencia en el tiempo de un tipo de cubierta dada. Estos modelos son de tipo probabilístico; es decir, estiman la probabilidad de que un tipo de cubierta pase a otro, y no dependen de eventos anteriores. El uso del modelo markoviano ha resultado ser una herramienta de fácil aplicación por su sencillez, sobre todo para analizar sistemas dinámicos de vegetación con alta complejidad de los controladores de cambio de uso de suelo.

También existen los modelos espacialmente explícitos, los cuales simulan las tendencias del cambio espacial en función de la dinámica de sus fronteras con otros tipos de suelo. A estos modelos se les llama “de autómatas celulares”. Esta herramienta es adecuada

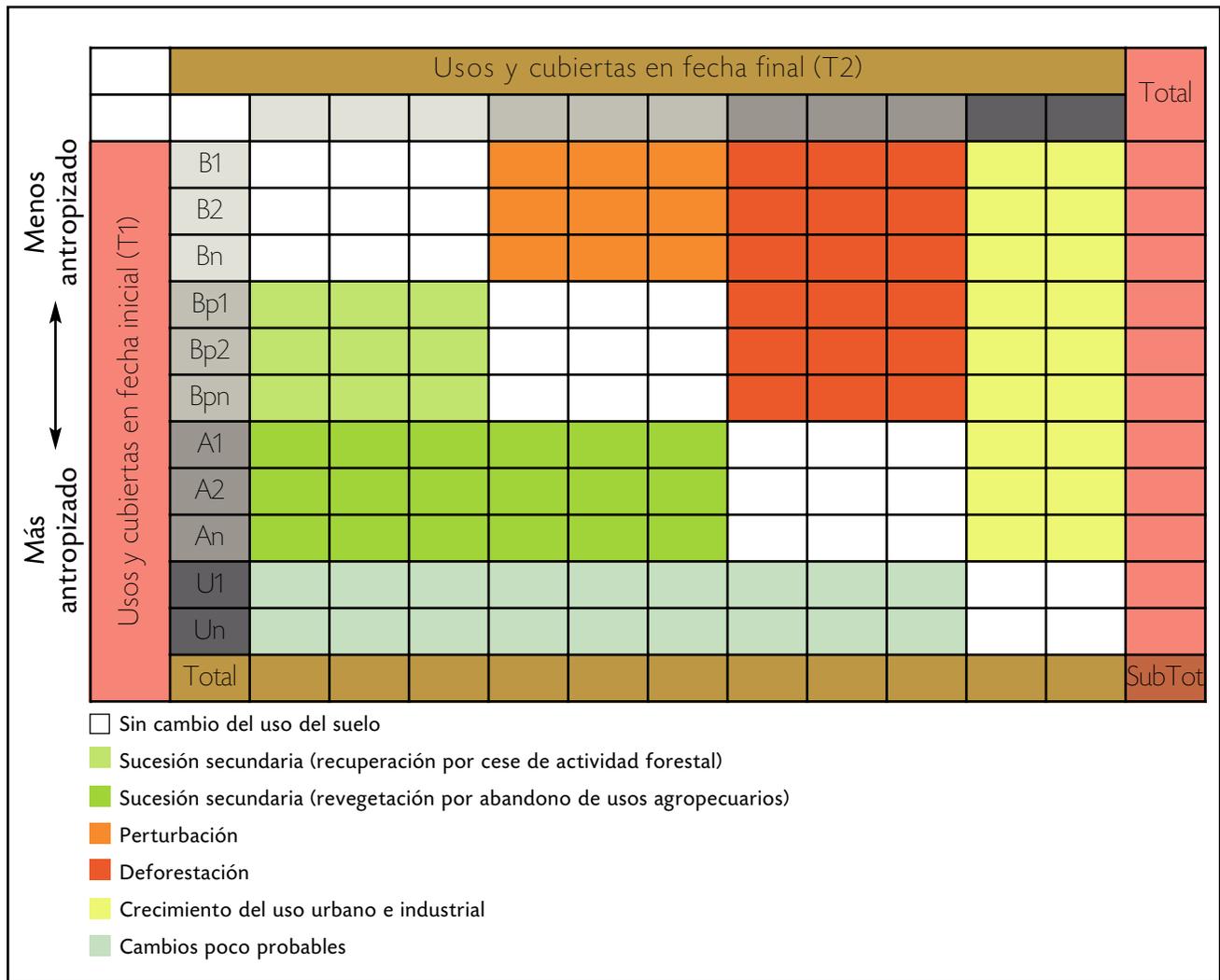


Figura 2. Ejemplo de matriz de transición y de identificación de procesos de cambio. B: clases de vegetación natural conservada; Bp: clases de vegetación perturbada, secundaria; A: clases de usos agropecuarios; U: clases de usos urbanos e industriales.

para abordar el problema anterior y entender la localización, cantidad y dirección del cambio de la cobertura del paisaje y su relación con los factores bióticos y abióticos. Una de las características fundamentales de esta herramienta es que incorpora los factores que generan heterogeneidad espacial en el modelo como un elemento importante en la distribución de los usos de suelo. La incorporación de la heterogeneidad espacial permite enriquecer el análisis de la dinámica espacio-temporal al considerar situaciones como la fragmentación o diferentes calidades del hábitat. Además, la utilización de herramientas como la percepción remota y los sistemas de información geográfica

ha permitido abordar los patrones espaciales de los procesos ecológicos en diferentes niveles de integración.

Dado que no existe información suficiente sobre las causas sociales, económicas y biofísicas de los patrones de deforestación de los ecosistemas en México, tampoco existe un diseño experimental para entenderlos. En este sentido, los estudios a través de límites entre administraciones vecinas son útiles para conocer los efectos de los factores subyacentes en los patrones de cambio del uso y cobertura del suelo, deforestación y fragmentación a una escala geográfica amplia. Por otro lado, los gradientes socioambientales proveen marcos adecuados para entender, modelar, evaluar y

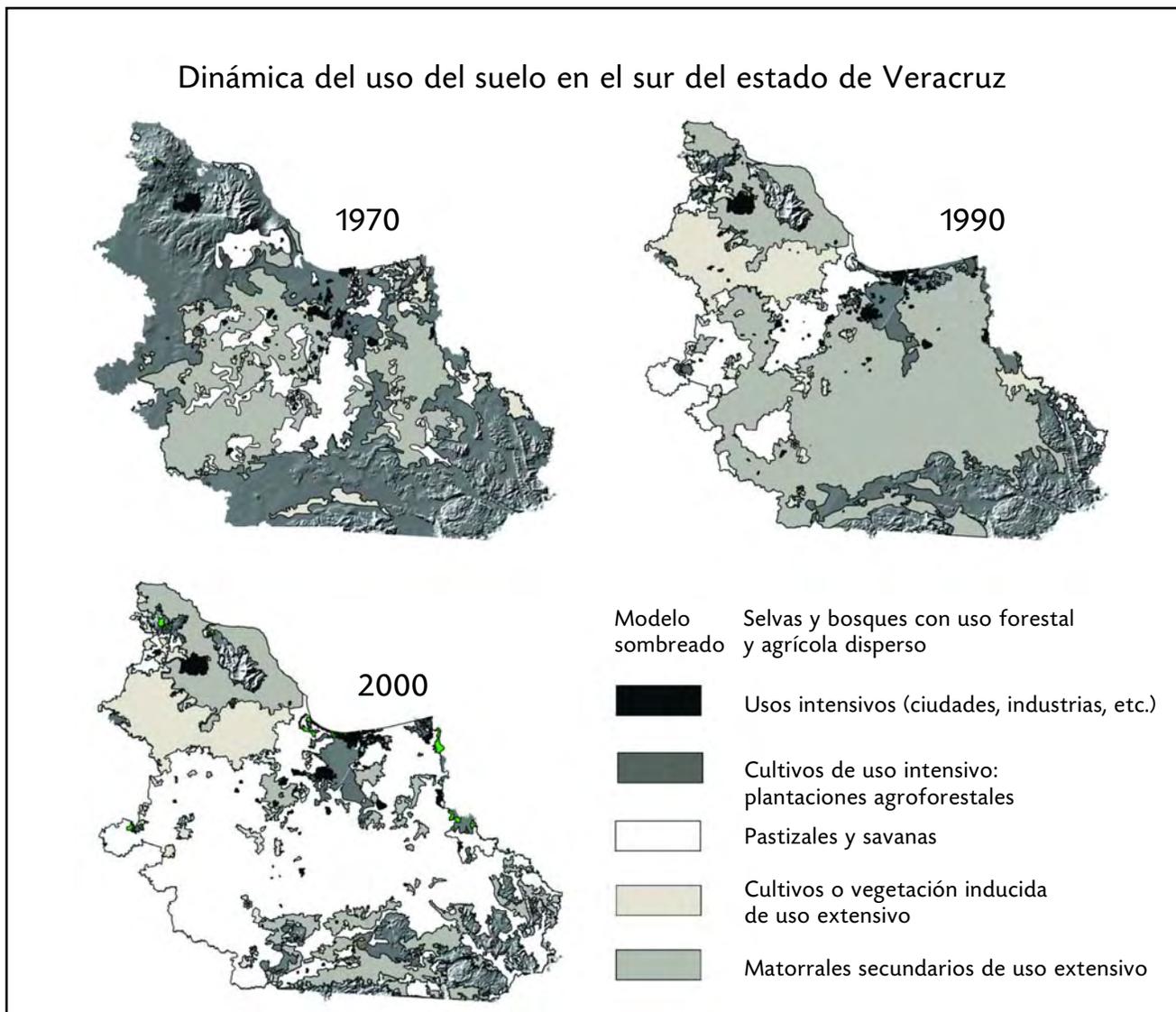


Figura 3. Mapas de cambios de uso del suelo de la selva alta perennifolia del sur de Veracruz, México.



mapear la variación espacial de los cambios de uso del suelo en escalas regionales.

En el contexto de la ecología del paisaje, el análisis del uso del suelo usa distintas herramientas de cálculo espacial para analizar las consecuencias de los sistemas de uso del suelo sobre la estructura espacial del paisaje. Para ello se utilizan diferentes índices espaciales que nos permiten estimar cuantitativamente, principalmente en términos de área, las distintas manifestaciones geométricas de los recursos forestales y por tanto la fragmentación de los ecosistemas. Se pueden identificar elementos de área (áreas de vegetación, zonas urbanas, cultivos, etcétera) y elementos de línea (camino, bordes de los fragmentos, carreteras, líneas eléctricas, cauces de ríos...), así como un patrón geométrico que se refiere a corredores, índices de diversidad, perímetro, área, borde y fractalidad. Estas métricas del paisaje nos sirven para la cuantificación de los patrones espaciales de su composición y estructura.

El primer caso se refiere a la variedad y abundancia relativa de los tipos de fragmentos representados en el paisaje; este componente es a menudo sumado con otros índices. Para el segundo caso, la estructura connota el arreglo, posición, orientación o complejidad de forma de los parches en el paisaje; describe a varios índices de estructura del mismo. Finalmente, existen otros modelos, llamados “de simulación”, que utilizan datos cartográficos y de sensores remotos, e infieren el

factor controlador de los cambios de uso de suelo, como el crecimiento urbano y la apertura de tierras para agricultura y ganadería. A partir de estas inferencias pueden construirse escenarios de predicción de la deforestación o cambios de cubierta vegetal.

Avances en México

En nuestro país, el esfuerzo científico se ha centrado en estimar las tasas de deforestación a través de los inventarios forestales, pero los estudios de cambios de uso del suelo en escalas local y regional en nuestro país son escasos.

Por ello, en el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México existe un grupo de investigación orientado a determinar no sólo los cambios de uso del suelo en diferentes tipos de vegetación, sino también entender sus causas en los aspectos sociales, culturales, políticos, institucionales, tecnológicos y económicos. Es de interés analizar los agentes conductores de la deforestación y de los cambios de uso del suelo para su mejor entendimiento. Asimismo, es importante analizar los cambios de uso del suelo en diferentes escalas espaciales y temporales, con la finalidad de explicar y predecir los procesos de cambio de uso del suelo en los ecosistemas forestales del país. Por tanto, las preguntas que se pretenden responder son: ¿cuál es la dirección y velocidad del cambio de uso del suelo y la deforestación de la vegetación? ¿Con qué condiciones biofísicas está relacionada la deforestación? ¿Cuáles son los conductores de la deforestación para los principales ecosistemas forestales? ¿Cuál es la dinámica de los cambios de uso del suelo? Es decir, nos interesa estudiar cuánto, cómo y dónde ocurren los cambios de uso del suelo mediante técnicas como la fotointerpretación, la utilización de imágenes de satélite y la implementación de métodos analíticos para la predicción espacial y temporal de los cambios de uso del suelo.

Estos métodos nos permiten también analizar las consecuencias espaciales de los cambios de uso del suelo, como la fragmentación y la distribución espacial de los recursos naturales. Estos resultados permiten identificar las diferentes causas de la deforestación y de los cambios de uso del suelo en los diferentes

ambientes, y generar los criterios indispensables para la toma de decisiones encaminadas al desarrollo sustentable, a la aplicación de medidas regionales de adaptación, y a la protección de los hábitats en un innovador campo de acción para geógrafos y ecólogos.

Bibliografía

- Challenger, A. (1998), *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México, pasado, presente y futuro*, México, CONABIO-UNAM.
- Dirzo, R. y M. García (1992), "Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a neotropical area in southeast Mexico", *Conservation Biology*, 6, 84-90.
- Galicia, L. y A. García-Romero (2005), "Land cover and land use changes in highland temperate forest of Iztapopo national park, central Mexico", *Mountain Research and Development*.
- García-Romero, A., O. Orozco y L. Galicia (2004), "Land-use systems and resilience of tropical rainforests in the Tehuantepec Isthmus, Mexico", *Environmental Management*, 36, 875-893.
- García-Romero, A. (2001), "Evolution of disturbed oak woodlands: the case of Mexico City's western forest reserve", *The Geographical Journal*, 167, 72-82.
- García-Romero, A. (2002), "An evaluation of forest deterioration in the disturbed mountains of western Mexico", *Mountain Research and Development*, 22, 270-277.
- Gómez, L., L. Galicia, E. Vega-Peña, I. Ramírez-Ramírez y J. L. Palacio-Prieto (2004), "Proyección de los cambios de uso del suelo y vegetación en la sierra norte de Oaxaca: una aplicación de los modelos markovianos", *III Seminario Latinoamericano de Geografía Física*, Puerto Vallarta, Jalisco, 27 al 30 de abril.
- Helmut, H. J. y E. F. Lambin (2002), "Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation", *BioScience*, 52, 143-151.
- Ramírez, M. I. (2001), "Cambios en las cubiertas del suelo en la sierra de Angangueo, Michoacán y Estado de México, 1971-1994-2000", *Investigaciones Geográficas*, 45, 39-55.
- Ramírez, M. I., J. G. Azcárate y L. Luna (2003), "Effects of human activities on monarch butterfly habitat in protected mountain forests, Mexico", *Forest Chronicle*, 79 (2), 242-246.
- Velázquez, A., E. Duran, M. I. Ramírez, J. F. Mas, G. Bocco, G. Ramírez y J. L. Palacio-Prieto (2003), "Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, México", *Global Environmental Change*, 85, 175-184.

Leopoldo Galicia es licenciado en geografía y doctor en ecología por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Es profesor del Colegio de Geografía y de su posgrado desde 1993, e investigador del Instituto de Geografía de la UNAM desde febrero de 2003. Sus principales líneas de investigación son los cambios de uso del suelo y la biogeoquímica de suelos en escala del paisaje. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1997.

lgalicia@igiris.igeograf.unam.mx

Arturo García Romero es licenciado en geografía por la UNAM y doctor en geografía por la Universidad Complutense de Madrid. Es investigador del Instituto de Geografía desde 1998; profesor en la Facultad de Ciencias y del Posgrado en Geografía de la UNAM. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Sus principales intereses académicos se centran en la dinámica del uso del suelo y su impacto en la estructura y dinámica del paisaje.

agromero@igg.unam.mx

Leticia Gómez-Mendoza es maestra en geografía por la UNAM, meteoróloga clase III y profesora del Colegio de Geografía de la UNAM. Laboró en el Servicio Meteorológico Nacional y en la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Actualmente realiza su investigación doctoral en el Instituto de Geografía de la UNAM como becaria de posgrado del Conacyt.

lgomez@igg.unam.mx

M. Isabel Ramírez es licenciada en geografía por la Universidad de Guadalajara y doctora en geografía por la Universidad Complutense de Madrid. Es investigadora del Instituto de Geografía desde 2001. Ha impartido clases de ecogeografía y de técnicas de integración geográfica en la Facultad de Ciencias y el Posgrado en Geografía de la UNAM. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores. Sus principales intereses académicos se centran en el estudio de cambios de uso del suelo y la dinámica de la vegetación.

isarr@correo.unam.mx



