

ARTÍCULO DE REFLEXIÓN/REFLECTION PAPER

PATRONES DEL PAISAJE Y ESCENARIOS DE RESTAURACIÓN: ACERCANDO ESCALAS

Landscape Patterns and Restoration Scenarios: Bridging Scales

Dolors ARMENTERAS¹, Orlando VARGAS¹.

¹ Grupo de Ecología del Paisaje y Modelación de Ecosistemas, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Cra. 30 n.º 45-03, edificio 421, oficina 223. Bogotá, Colombia.

² Grupo de Restauración Ecológica, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Cra. 30 n.º 45-03, edificio 421, oficina 107. Bogotá, Colombia.

For correspondence. darmenterasp@unal.edu.co

Received: 27th May 2015, Returned for revision: 10th July 2015, Accepted: 9th October 2015.

Associate Editor: Fagua Alvarez Florez.

Citation / Citar este artículo como: Armenteras D, Vargas O. Patrones del paisaje y escenarios de restauración: acercando escalas. Acta biol. Colomb. 2016;21(1)Supl:S229-239. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v21n1sup.50848>

RESUMEN

El paisaje, entendido como un mosaico heterogéneo, es una unidad donde interactúan ecosistemas, especies y el hombre con el uso que este último hace del mismo. El paisaje es el resultado de complejas interacciones, no solo producto de dinámicas naturales sino del balance de la oferta y la demanda de la sociedad ante la preferencia por los recursos que este ofrece. Este equilibrio causa impactos ecológicos sobre los ecosistemas y la diversidad de organismos que ocupan los paisajes. El uso y manejo del territorio aumenta la heterogeneidad espacial, en muchos casos a través de la pérdida y fragmentación de hábitat. Estos procesos traen alteraciones sobre el funcionamiento de los ecosistemas, afectando funciones y procesos ecológicos que dependen del flujo de energía y materiales a través de paisajes. El objetivo de este trabajo es avanzar en la comprensión de los orígenes de la heterogeneidad resultante de estas dinámicas, para mitigar sus efectos y entender cómo planificar y manejar los paisajes. Restaurar, rehabilitar y recuperar ecosistemas son estrategias para asegurar la conservación, sostenibilidad y en algunos casos la recuperación de servicios ecosistémicos. En ocasiones las escalas de paisaje y aquellas a las cuales se realizan actividades de restauración se encuentran alejadas en la práctica. Este artículo presenta una revisión de conceptos claves en ecología del paisaje y de restauración, acercando escalas intrínsecas de los fenómenos y de toma de decisiones para el desarrollo de escenarios de manejo y restauración en Colombia.

Palabras clave: ecosistemas, factores de cambio, huella ecológica, procesos ecológicos.

ABSTRACT

The landscape, understood as a heterogeneous mosaic is a unit where ecosystems, species and land use by men interact. It is the outcome of complex interactions, not only as a result of natural dynamics but also the balance created between the supply and the demand of society which is driven by the preference for certain resources. This balance causes ecological impacts both on ecosystems and the diversity of organisms that occupy the landscape. Land use and management tend to increase the spatial heterogeneity in many cases through landscape processes such as habitat loss and fragmentation. These processes bring alterations in the functioning of ecosystems, affecting the ecological functions and those processes that depend on the flow of energy and materials through landscapes. The objective of this paper is to advance in the understanding of the origins of such heterogeneity in order to mitigate its negative effects and to better plan and manage landscapes. All restoration, rehabilitation and ecosystems recovery, are strategies to ensure the conservation, sustainability, and in some cases recuperation of ecosystem services. Often landscape scales and those scales to which restoration activities are carried out are very distant in practice. This article presents a reflection carried out within the framework of the Mutis Chair, 2015, it presents an overview of the key concepts in landscape ecology and restoration and an attempt to bridge intrinsic and decision making scales to advance in the development of restoration scenarios in Colombia starting from the landscape scale but integrating local knowledge and actions.

Keywords: ecosystems, ecological footprint, ecological processes, driving forces.

INTRODUCCIÓN

Todos los ecosistemas del mundo presentan una huella ecológica producto de la interacción de factores de origen diverso combinado con un régimen de disturbios tanto naturales como antrópicos. Muchos de estos ecosistemas han sido destruidos y transformados y las tasas de cambio permanecen en muchos ecosistemas, principalmente en los forestales. Se estima que la tasa anual de deforestación en Colombia es de 0,64 % a nivel nacional con variaciones regionales de hasta 1,92 % (Armenteras *et al.*, 2013). La transformación y degradación de paisajes y procesos como la pérdida de hábitat y la fragmentación (con la consecuente pérdida de biodiversidad), son señalados como una de las mayores crisis actuales que comprometen la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos, tendiendo a agravarse en escenarios de cambio climático (Lindenmayer y Fischer, 2006).

La ecología del paisaje, la ecología de la restauración y el manejo de ecosistemas han tomado fuerza como nuevas aproximaciones para mitigar los impactos de la pérdida de hábitats y la fragmentación. La investigación sobre cambios en los paisajes se está enfocando rápidamente en cómo manejar paisajes para la conservación de la biodiversidad y cómo restaurar, rehabilitar y recuperar ecosistemas, tanto para la conservación como para asegurar la sostenibilidad y/o recuperación de servicios ecosistémicos. Por otro lado la restauración ecológica se ha enfocado básicamente en escalas locales y algunas voces han surgido resaltando que es necesario moverse a escalas regionales y de paisaje (Sun-Kee *et al.*, 2004). Se han hecho grandes avances en ecosistemas bien delimitados pero pocos esfuerzos se encuentran en ecosistemas ubicados en gradientes altitudinales o hídricos, para así lograr establecer funciones ecológicas. Esto solo se puede lograr si se cambia el enfoque de una escala local a una escala de paisaje. Resaltar la importancia del enfoque de paisaje es vital para tener éxito en procesos de restauración ecológica, basados en que si no se conoce bien la estructura y función de paisajes, no se pueden acelerar procesos en los cuales se tenga en cuenta la dinámica de poblaciones, comunidades y ecosistemas. Este artículo presenta los avances en la identificación de las huellas que se producen en el paisaje y que resultan en unos patrones característicos como consecuencia de las diferentes actividades antrópicas en Colombia.

LOS PAISAJES EN LA ECOLOGÍA

El término paisaje fue introducido en 1939 por el biogeógrafo alemán Carl Troll (1939), aunque el origen de la ecología del paisaje puede remontarse hasta 1913 cuando el científico soviético Berg (1915) presentó una revisión sobre los objetivos y tareas de la geografía y sugirió que el estudio de los paisajes fuera el foco sobre el cual la geografía debía coalescer. En las décadas de los años 60s y 70s, muchos otros cambios en la disciplina de la ecología la llevaron a constituirse como una disciplina integral que relacionaba

procesos físicos y biológicos fuera de la biología. Se empezó a reconocer la importancia del papel del patrón espacial y de la heterogeneidad, particularmente a partir de los 90s en una gran variedad de temas como teoría de metaboplasmas, teoría del equilibrio en Biogeografía de islas o la teoría del forrajeo óptimo entre otros. Sin duda, la ecología del paisaje en sus inicios no sólo adoptó elementos de la aproximación espacial del geógrafo, sino que esencialmente también lo combinó con el acercamiento funcional de la ecología (Forman y Godron, 1986). La ecología del paisaje moderna empezó a desarrollar su identidad actual a inicio de los 80s, construyéndose a partir de las aproximaciones espaciales de la geografía, la ciencia del suelo y la ecología de plantas, sumado a la relevancia cada vez mayor de los patrones espaciales. El concepto de paisaje, en el contexto más actual de la ecología del paisaje, ha sido definido como una porción de territorio heterogéneo compuesto por un grupo de ecosistemas que interaccionan y se repiten de forma similar en el espacio en toda su extensión (Forman y Godron, 1986). En 1987 se propuso la definición del paisaje como las entidades físicas, ecológicas y geográficas que integran patrones y procesos tanto naturales como antrópicos (Naveh, 1988). Más adelante Forman (1995) adaptó la definición el paisaje como un mosaico de kilómetros de ancho sobre el cual ecosistemas locales ocurren. El paisaje ha sido definido por Burel y Baudry (2001) como un nivel de organización de los sistemas ecológicos superior al ecosistema que se caracteriza esencialmente por su heterogeneidad y por su dinámica, controlada en gran parte por las actividades humanas. Turner *et al.* (2001) propusieron una adaptación del término paisaje que fue definido por Forman (1995), definiéndolo como un área que es espacialmente heterogénea en por lo menos un factor de interés, donde la heterogeneidad es entendida como la complejidad y o variabilidad de una propiedad de un sistema en el espacio y en el tiempo (Li y Reynolds, 1995) e ilustrarlo como el alejamiento de lo que en nuestro contexto podría ser un paisaje homogéneo (Fig. 1).

La ecología del paisaje analiza y enfatiza la interacción entre el patrón espacial y el proceso ecológico, es decir las causas y consecuencias de la heterogeneidad espacial a través de diferentes escalas (Turner *et al.*, 2001). Como hemos visto existen variaciones sobre el concepto de paisaje, no obstante e independientemente de su definición final, cuando se observa un paisaje se distingue una composición y una configuración (o estructura) espacial de los elementos que se encuentran presentes, a esto se le denomina patrón (Fig. 2). Adicionalmente al patrón, todo paisaje tiene función o elementos del paisaje interactuando entre sí y esto se relaciona con el proceso. Todos los paisajes tienen una composición y configuración (patrón) y una función (proceso) que hipotéticamente está influenciada por la primera y viceversa. Por otra parte, es importante considerar que los paisajes también exhiben cambios en el tiempo (Forman, 1995).

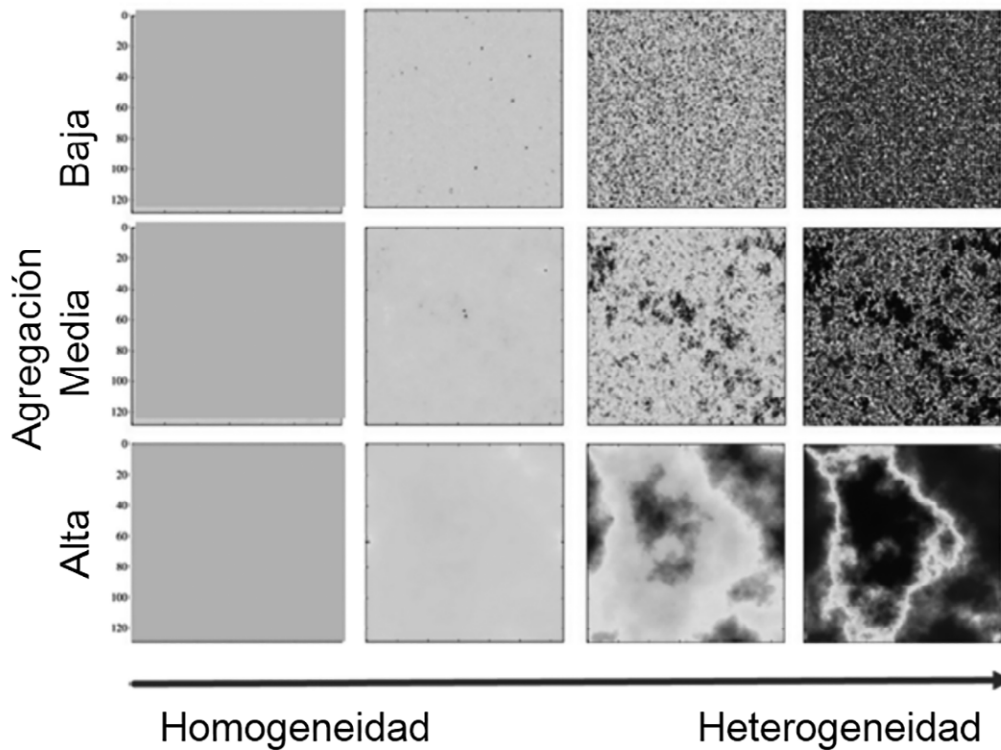


Figura 1. Ilustración de transición de un estado de homogeneidad a diferentes heterogeneidades como resultado de una baja, media o alta agregación. Adaptado de Bar Massada *et al.*, 2014.

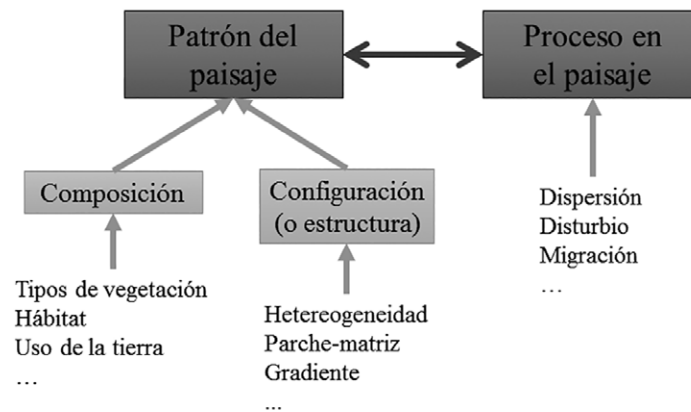


Figura 2. Componentes del paisaje y relación entre los mismos (Adaptado de Wiens, 2002).

En la práctica, uno de los modelos más aplicados en ecología del paisaje para plasmar el concepto “paisaje” es el de parche-corredor-matriz propuesto por Forman y Godron (1986). En este modelo se identifican tres tipos de elementos que componen un paisaje (Forman, 1995) (Fig. 3): (i) los parches son áreas no lineales relativamente homogénea que difieren de sus alrededores, (ii) los corredores son elementos lineales que difieren del terreno adyacente en ambos lados,

y (iii) la matriz sería el elemento dominante y conectado en un paisaje y/o con mayor control sobre la dinámica del paisaje. En este sentido el concepto de mosaico también es importante en un paisaje como un área determinada del territorio donde se encuentra un patrón de parches, corredores y matriz. Algunos autores diferencian el mosaico como el conjunto de parches y la red como el conjunto de corredores en un paisaje (Burel y Baudry, 2001).

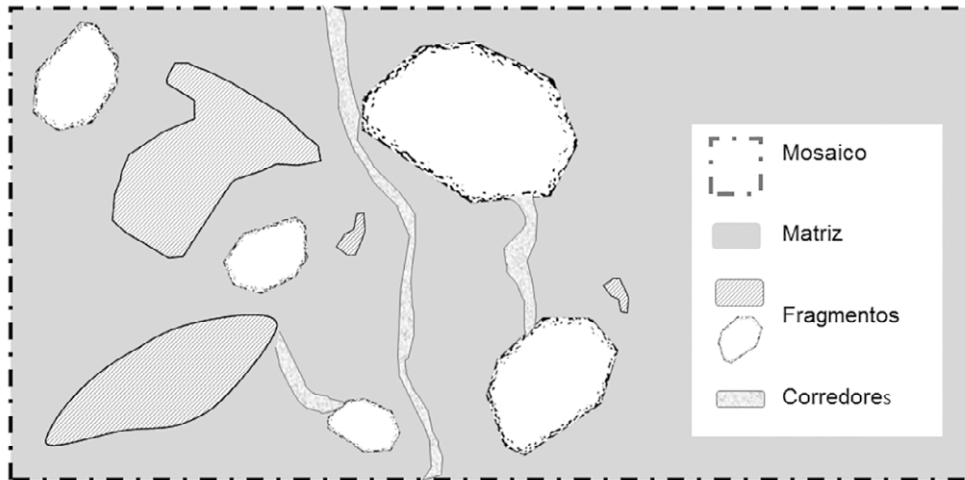


Figura 3. Elementos del paisaje en el marco de un modelo mosaico-matriz-parche-corredor.

Factores causantes y patrones resultantes de procesos a escala del paisaje

Los paisajes son resultado de factores formadores de carácter natural y de las actividades antrópicas que ocurren en él. Entre estos últimos, por ejemplo, la deforestación es un proceso a nivel de paisaje que en los bosques tropicales es impulsado por múltiples factores causales, sin que exista una universalidad en sus complejidad y patrón resultante (Geist *et al.*, 2002; Rudel, 2006; Kindermann *et al.*, 2008).

Existe un marco conceptual de causas indirectas o directas de deforestación que sirve como punto de partida

para la comprensión de estos procesos en el territorio (Fig. 4). En términos generales, las presiones demográficas (como una fuerza o impulsor indirecto o subyacente de deforestación) y las actividades agropecuarias (como causa o impulsor directo), se mencionan a menudo como los principales factores detrás de la deforestación tropical (Geist y Lambin, 2002). A pesar de las generalidades, la deforestación tropical se explica mejor por la interacción de múltiples factores, entre los que los económicos son las fuerzas subyacentes más prominentes, seguido de inversiones en infraestructuras y redes de carreteras. En

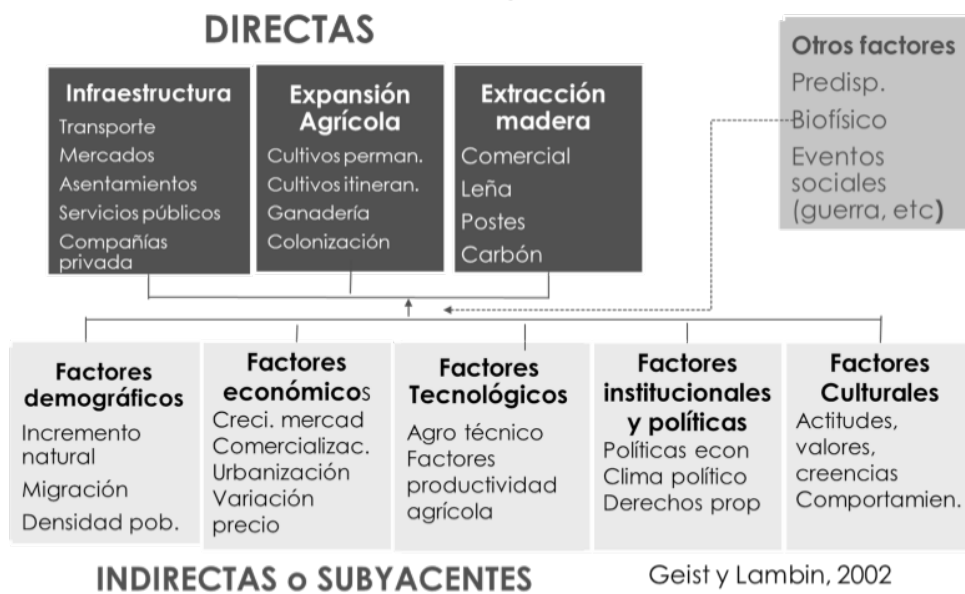


Figura 4. Causas directas e indirectas de la deforestación tropical (Adaptado de Geist y Lambin, 2002).

América Latina usualmente se mencionan los factores demográficos asociados al crecimiento de la población y recientemente el crecimiento urbano como principal motor de la actualidad (Defries *et al.*, 2010). Finalmente, aspectos como la geología, topografía, factores climáticos como las sequías, calidad del suelo, entre otros, son considerados predisponentes factores ambientales que condicionan fuertemente la deforestación (Chomitz y Thomas, 2000; Geist y Lambin, 2001).

El resultado de los factores mencionados, es una huella a menudo muy característica en el paisaje. Una de las primeras tipologías de patrones espaciales resultantes de procesos de deforestación fue presentada por Mertens y Lambin (1997) para Camerún (África), asociando la configuración del paisaje con los procesos y actividades antrópicas que los habían conformado. En este sentido, presentaron seis grandes tipos de patrones (Fig. 5): (i) patrón geométrico, asociado a grandes claros en el bosque ocasionados por

actividades agrícolas, ganaderas y establecimiento de extensas plantaciones, en algunos casos favorecidos por alguna condición biofísica que facilita el desarrollo de una actividad específica; (ii) patrón corredor, asociado con procesos de colonización por alguna vía de acceso, bien sea carretera o río donde se establecen parcelas de cultivos de subsistencia para luego dar paso algún tipo de cultivo más permanentes; (iii) patrón espina de pescado, asociado a ampliación de procesos de colonización estimulados por políticas nacionales, migración de población hacia una región y establecimiento de áreas agrícolas a partir de las vías de acceso (carretera o ríos) e inicialmente con un patrón corredor, pero a diferencia del anterior, se terminan desarrollando cultivos permanentes y posteriormente fincas ganaderas de mayor tamaño; (iv) patrón difuso, asociado comúnmente a las prácticas de agricultura tradicional de subsistencia de pequeños colonos (desmonte-quema-cultivos); (v) patrón parche, asociado a áreas que ya presentan

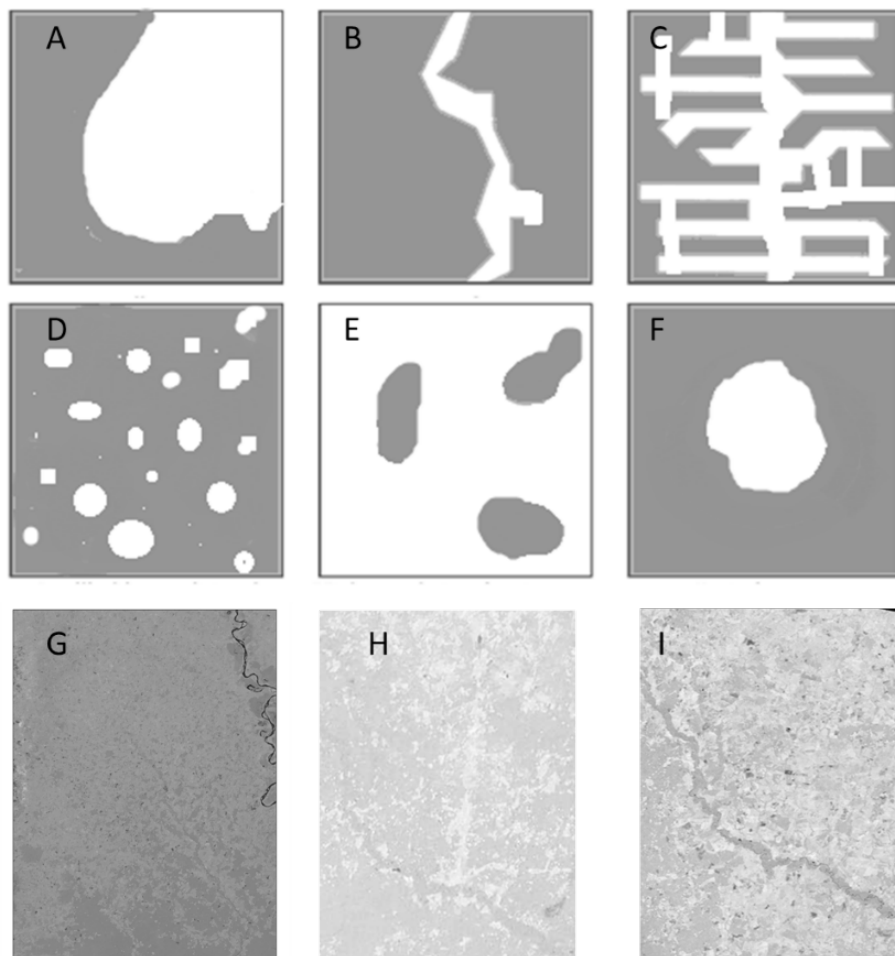


Figura 5. Tipos de patrones geométrico (A), corredor (B), espina de pescado (C), difuso (D), parche (E) e Isla (F) (Adaptado de Mertens y Lambin, 1997). Ejemplos de patron difuso (G), corredor (H) y espina de pescado (I) en Colombia. Solano-Montañita (G), carretera El Retorno-Calamar (H en 1985, I en 2015. Manchas oscuras son quemas).

alta densidad demográfica donde sólo quedan fragmentos aislados de bosque que ya han sido reemplazados por cultivos permanentes y afectado por la tala de árboles para extracción de leña y usos predominantemente domésticos, y (vi) patrón de isla, relacionado con la expansión de áreas urbanas y semiurbanas y de la infraestructura asociada a su crecimiento.

DISTURBIOS

Los disturbios son un componente clave en todos los sistemas ecológicos afectando los ecosistemas terrestres, acuáticos y marinos (Farina, 2000; Turner, 2010). Para comprender como se transforman y cambian los paisajes en tiempo y espacio es importante comprender la ecología de disturbios, los cuales se presentan en la naturaleza a diferentes escalas espaciales y temporales afectando las trayectorias de los ecosistemas y generando también heterogeneidad en los paisajes.

Los disturbios afectan la dinámica de los ecosistemas en todos los niveles de organización, desde individuos, poblaciones, comunidades, ecosistemas y paisajes (Pickett y White, 1985) y modelan los diferentes tipos de dinámica de la vegetación, como son: fluctuaciones, claros, parches, sucesiones primarias, sucesiones secundarias, sucesiones-regeneraciones, sucesiones cíclicas y sucesiones seculares (Van der Maarel, 1988) y pueden afectar las características de disturbios futuros (Collins, 1987; Reice, 1994; Veblen *et al.*, 1994).

Un disturbio es cualquier evento discreto en el tiempo que altera la estructura de un ecosistema, comunidad o población, ocasionando cambios en la distribución de los recursos, la disponibilidad de sustratos y/o las características del ambiente físico (Pickett y White, 1985). Pickett *et al.* (1989) también lo definen como un evento discreto en el tiempo, externo al nivel jerárquico de interés, capaz de cambiar la estructura mínima de una entidad ecológica. La estructura mínima es la unidad de organización que aparece cuando se desciende al nivel jerárquico inmediatamente anterior. Por ejemplo, un evento que altere la estructura de una población, necesariamente afecta a los individuos, pues estos son la estructura mínima de las poblaciones.

El régimen de disturbios de un ecosistema hace referencia a los patrones espacio temporales de un conjunto de disturbios que actúan sobre un paisaje (Pickett y White, 1985; Collins, 1987). El ejemplo más común de régimen de disturbios ocurre en ecosistemas de pastizal (praderas y sabanas) en donde actúan diferentes disturbios, a diferentes escalas espaciales y temporales, como pastoreo, fuego y escarbamientos por animales. Estos disturbios interactúan entre sí y afectan de forma diferente las comunidades de plantas (Collins, 1987).

Un régimen de disturbios se refiere también a la dinámica espacial y temporal de los disturbios durante un largo periodo de tiempo, lo cual incluye distribución espacial,

frecuencia, intervalo de retorno, periodo de rotación, tamaño, intensidad y severidad (Turner, 2010).

Disturbios y la dinámica del paisaje

La relación entre paisaje y disturbios se basa principalmente en la capacidad de éstos de generar heterogeneidad espacial en el paisaje, y por consiguiente, en la conformación de diferentes tipos de mosaicos dentro de un mismo paisaje. Desde el punto de vista funcional los mosaicos tienen diferentes funciones que dependen de su persistencia. Los disturbios también generan cambios espaciales que son aprovechados por especies invasoras al cambiar los gradientes de recursos. Muchos paisajes actualmente están infestados por especies invasoras cambiando procesos naturales e impidiendo la regeneración y dispersión de la biota nativa.

Los disturbios antrópicos predominan actualmente en casi todos los ecosistemas y se relacionan principalmente con: deforestación, quemadas, ganadería, agricultura, minería, construcción de obras civiles (embalses, oleoductos y carreteras), plantaciones forestales e invasiones biológicas. Los principales disturbios naturales que interactúan con los disturbios antrópicos son: terremotos, deslizamientos, vulcanismo, huracanes, glaciares, tormentas, lluvias y vientos fuertes, inundaciones, heladas, disturbios producidos por animales y fuegos naturales. Todos estos disturbios conforman procesos complejos en los paisajes afectando la estructura y función de los ecosistemas y en la mayoría de casos alterando procesos naturales con pérdida de biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.

Es importante comprender a escala de paisaje, la forma como los disturbios antrópicos (como el fuego), han cambiado su régimen y como se combinan disturbios como fuego y ganadería, fuego y agricultura, fuego y especies invasoras (Fig. 5H, muestra el efecto del uso del fuego en el patrón). Por otra parte, el cambio climático lo podemos considerar como un disturbio antrópico de escala global que interactúa con todos los disturbios y cambia su régimen, un ejemplo son las inundaciones durante fenómenos niña e incendios durante fenómenos niño. En Colombia por ejemplo se ha establecido una relación entre la incidencia de incendios y la variación climática y la influencia de estos fenómenos incrementando hasta un millón de hectáreas quemadas en año de “El niño” (Armenteras *et al.*, 2011).

RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

La restauración ecológica fue definida por SER (2004) como el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido. También se le define como un proceso que recupera y mejora la funcionalidad de un ecosistema dentro de paisajes conformados por tierras en producción agrícola y áreas en conservación (Aronson *et al.*, 2006). Esta última definición tiene en cuenta algunas estructuras del paisaje como matrices y parches.

Recientemente Higgs *et al.* (2014) proponen el término de “ecología de la intervención” para hacer énfasis en la importancia del conocimiento histórico en la transformación de los paisajes. White (1990 citado por Higgs *et al.*, 2014) ha argumentado que los paisajes proporcionan a la “tierra el material de la historia humana”, que describe una relación recíproca entre las personas y el paisaje. Es decir la huella humana que queda en los paisajes es un proceso básico para alcanzar objetivos de restauración y el conocimiento histórico toma mucha importancia para la interpretación de paisajes y áreas locales. Desde una perspectiva social los paisajes culturales son la base de la restauración como práctica ecológica, cultural y social.

La restauración ecológica de paisajes tiene que ver con todos los niveles de organización (poblaciones, comunidades, ecosistemas y paisajes) para lo cual es necesario un enfoque de jerarquías, teniendo como eje central el enfoque ecosistémico regional, para lo cual lo primero que se hace es evaluar el estado de los ecosistemas, teniendo en cuenta aspectos importantes como la hidrología y los suelos en las diferentes unidades geomorfológicas del paisaje. La relación entre factores ecológicos, culturales e históricos es muy importante para vincular a las comunidades humanas en el proceso. Uno de los temas importantes que relacionan conocimiento científico y conocimiento cultural es la búsqueda y propagación de las especies de plantas de importancia para iniciar la restauración.

La restauración ecológica a escala de paisaje es una potente herramienta, pues el mantenimiento de la biodiversidad se expresa a grandes escalas. Si se quiere restaurar la biodiversidad y todo su potencial de regeneración, es necesario aprender a manejar paisajes. Cuando un ecosistema está muy alterado y es muy difícil tomar como referencia el ecosistema original, es recomendable elegir como ecosistema de referencia una trayectoria sucesional, dentro del potencial de trayectorias posibles que ofrece un paisaje.

Recomendaciones para evaluar los atributos del estado actual de un ecosistema

En la práctica, la escala inicial a la cual se recomienda establecer los objetivos para la restauración de paisajes es la escala regional a nivel de ecosistema, buscando la recuperación de algunas funciones del ecosistema, integrando los procesos a gran escala con los de pequeña escala (Herrick *et al.*, 2006). La perspectiva ecosistémica posee la ventaja de que permite visualizar todos los procesos fundamentales de funcionamiento de un ecosistema (Cairns, 1987).

La restauración a escala de paisaje implica la reintegración de ecosistemas fragmentados y paisajes, más que el enfoque sobre un único ecosistema. De hecho, aún si el objetivo de la restauración es planteado a escala ecosistémica, se requiere una visión del proceso a una escala de paisaje, puesto que las funciones ecosistémicas están relacionadas con flujos de

organismos, materia y energía entre las diferentes unidades del paisaje (SER, 2004). Sin embargo, para la mayoría de los paisajes un retorno completo a la situación histórica es poco probable, dado el cambio constante de los procesos que definen el desarrollo de comunidades y ecosistemas (van Diggelen *et al.*, 2001), donde lo más importante es avanzar en la comprensión de la estructura del paisaje y su biodiversidad, así como en la heterogeneidad espacial para recuperar grandes parches de ecosistemas que mantenga la biodiversidad a escala regional y del paisaje.

ESTRUCTURAS DEL PAISAJE Y RESTAURACIÓN

La escala de paisaje es importante en la planeación espacial del territorio con fines de conservación, restauración de ecosistemas y protección de los servicios que estos brindan (Jongman, 1995). Uno de los temas centrales de la relación entre paisajes y restauración es cómo aumentar la conectividad de paisajes, para lo cual el concepto de redes ecológicas es una estrategia o modelo de protección territorial que optimiza las relaciones entre hábitats, especie y poblaciones con el objetivo de garantizar la conservación de la biodiversidad (especies, hábitats, paisajes) (Jongman, 1995; Santos y Ganges y Herrera Calvo, 2013). Los elementos del paisaje (Fig. 3) se pueden tener en cuenta en la planeación de la restauración a escala de paisaje adicionando la incorporación de los bordes cuando sea relevante. Un modelo de zonificación más desarrollado incluye la restauración ecológica y contiene los siguientes elementos (Fig. 6): (i) zonas núcleo o nodos de conservación (parches), (ii) zonas tampón o de amortiguación (bordes), (iii) corredores y mosaicos, (iv) barreras ecológicas, y (v) zonas de restauración.

Teniendo en cuenta estas estructuras en redes es más fácil aplicar los principios formulados por Turner *et al.* (2001) para la protección y restauración de hábitats a escala de paisaje sintetizados en la Tabla 1. Desde el punto de vista de la restauración ecológica es importante conservar tanto parches grandes como parches pequeños (zonas núcleo o nodos) los cuales van a servir de referencia para establecer áreas de restauración en la matriz del paisaje. Una estrategia de restauración es aumentar el tamaño de los parches pequeños y lograr la conectividad con otros parches ya sean pequeños o grandes y para disminuir los efectos de borde según la forma del parche o fragmento (Tabla 1, ver Principio 1, Fig. 7).

Los tamaños de los parches o nodos son también muy importantes para la conservación de las especies, dependiendo del tamaño de la especie, su comportamiento y la relación con el tamaño del parche. Desde el punto de vista de la restauración ecológica es muy importante comprender la relación entre la escala local y la del paisaje, donde algunas especies pueden estar extintas localmente pero no regionalmente, y donde es importante rehabilitar sus hábitats ya sean acuáticos o terrestres. La conectividad

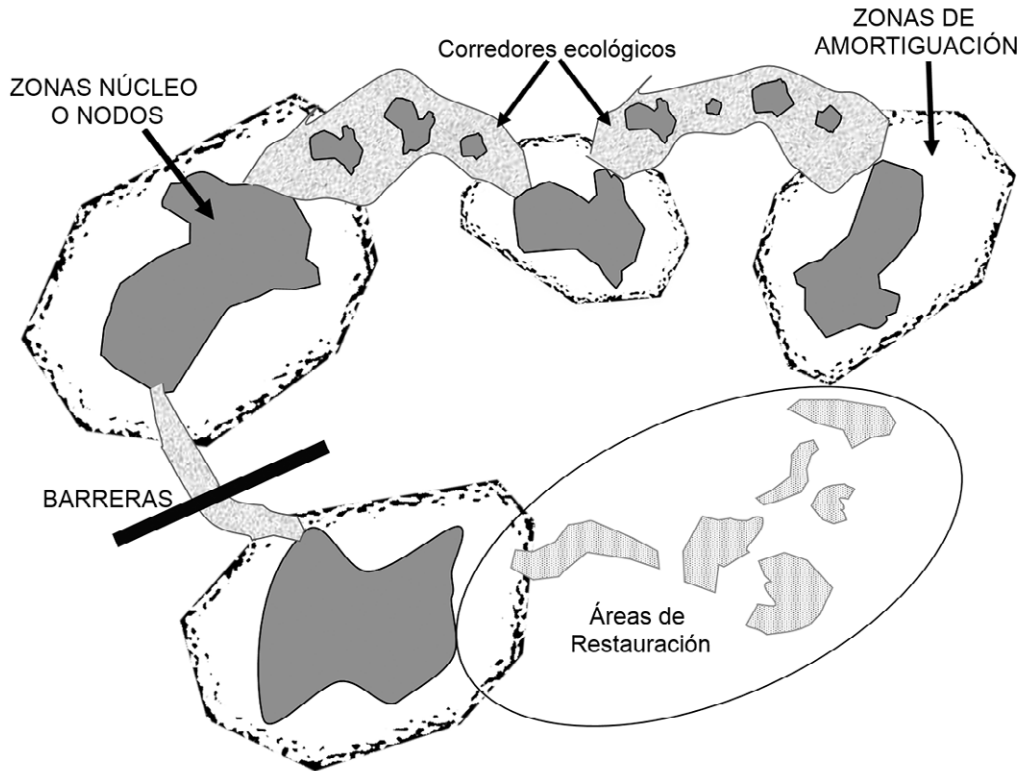


Figura 6. Modelo de redes ecológicas de Opdam (adaptado de Santos y Ganges y Herrera Calvo, 2013).

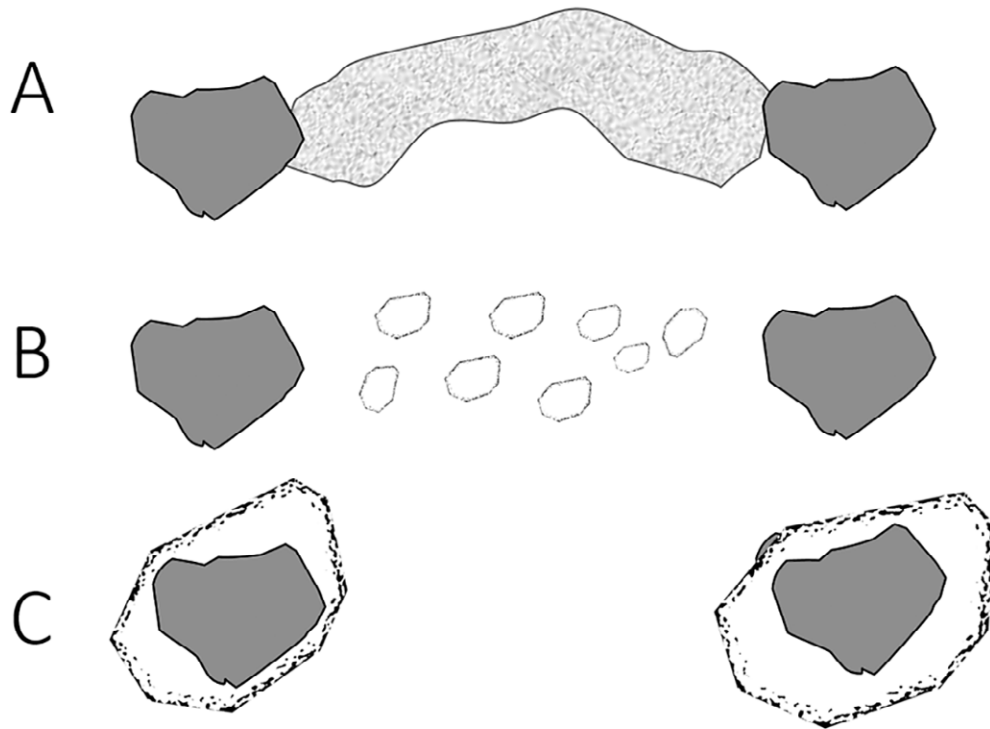


Figura 7. Tres modelos para mejorar la conectividad en paisajes fragmentados. A) Crear un corredor entre dos parches. B) Mejorar la calidad de la matriz creando pequeños parches. C) Incremento del tamaño del parche (adaptado de Farina, 2000).

Tabla 1. Principios para la restauración de hábitat a nivel de paisaje (Traducido y adaptado de Turner *et al.*, 2001).

| Principio | Función |
|-----------|--|
| 1. | Mantener parches grandes de vegetación nativa y prevenir su fragmentación por actividades humanas. |
| 2. | Establecer prioridades para la protección de especies y proteger los hábitats que restringen la distribución y abundancia de estas especies. |
| 3. | Proteger elementos raros del paisaje y orientar el desarrollo hacia áreas del paisaje que contienen características comunes. |
| 4. | Mantener conexiones entre hábitats de vida silvestre, identificando corredores de vida silvestre. |
| 5. | Mantener los procesos ecológicos importantes como incendios e inundaciones en áreas protegidas. |
| 6. | Contribuir a la persistencia regional de especies raras mediante la protección local de algunos de sus hábitats. |

en gradientes es muy importante en montañas para lo cual la restauración de bosques riparios es una prioridad, ya que estos bosques comprendían gradientes altitudinales por donde se mueven las especies (Tabla 1, ver Principios 1 y 2). Por otro lado los elementos raros del paisaje pueden ser tanto naturales como construcciones humanas que pueden jugar un papel importante en el legado histórico del paisaje (Tabla 1, ver Principio 3). En este sentido, hay muchas formas de crear corredores en el paisaje pero la principal es aumentar la conectividad de parches y formar núcleos (nucleación) de vegetación en la matriz. La restauración de bosques riparios es la forma más sencilla de lograr conectividad a gran escala (Tabla 1, ver Principio 4).

En algunas áreas naturales se han alterado los ritmos naturales de tal manera que para restaurar grandes zonas es necesario restablecer procesos como inundaciones, por ejemplo muchos humedales han sido destruidos o reducidos al cambiar su régimen hidrológico e impedir el normal flujo de agua en la estación lluviosa. En este caso la restauración ecológica empieza por restablecer la dinámica natural de procesos de gran escala (Tabla 1, Principio 5). Finalmente para contribuir a la persistencia regional de especies raras mediante la protección local de algunos de sus hábitats (Tabla 1, Principio 6), es necesario manejar el paisaje para protección de hábitats de especies raras tanto acuáticas como terrestres y de interfase.

Bell *et al.* (1997) señalan la importancia de la relación entre ecología del paisaje y ecología de la restauración para: i. orientar la selección de sitios de referencia y establecer los objetivos del proyecto, ii. sugerir configuraciones espaciales apropiadas de restauración que faciliten el reclutamiento de especies de fauna y flora.

Naveh (2005) reconoce la estrecha unión de los aspectos ecológicos de los paisajes, los procesos de restauración y los valores culturales. Los valores culturales son muy importantes porque a escala de paisaje los beneficiarios directos del manejo de paisajes y de la restauración ecológica son las comunidades locales y se ha reconocido ampliamente que el éxito de la restauración depende de la participación

de las comunidades. Los habitantes locales conocen de memoria sus paisajes, sus especies, los fenómenos que ocurren, los disturbios a que son sometidos y es seguro que muchos de los integrantes de las comunidades han iniciado empíricamente procesos de recuperación dado que han sido afectados por la degradación de sus ecosistemas.

CONCLUSIONES

El enfoque de paisaje abarca la heterogeneidad espacial la cual es una propiedad resultado de la variabilidad en el espacio y tiempo del complejo de ecosistemas y estructuras del paisaje que se reflejan en un patrón. Este es producto de factores naturales, pero también suele serlo de un régimen de disturbios con predominio de acciones humanas que dejan una huella ecológica particular, dependiente del tipo de transformación (deforestación por ganadería, por agricultura, por minería, etc.). En estos escenarios de transformación es muy importante comprender fenómenos a su escala para tener éxito en programas de restauración ecológica, por ejemplo: ¿cómo se mueven los disturbios en un paisaje?, ¿qué barreras a escalas de paisaje impiden el reclutamiento y el movimiento de especies de fauna y flora?, ¿cuál es el legado histórico del paisaje para comprender las huellas ecológicas actuales?, ¿cómo la conformación actual del paisaje puede contribuir al éxito de la restauración ecológica?, o ¿cómo se pueden generar procesos de restauración de bajo costo a escala de paisaje?. Usualmente esta aproximación integral a través de escalas inherentemente alejadas no se realiza, queremos no obstante enfatizar en la importancia de hacerse estas preguntas antes de emprender cualquier plan de restauración ecológica.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los organizadores de la Cátedra José Celestino Mutis 2015: “Biología, construyendo país”, Universidad Nacional de Colombia. En particular queremos agradecer a los profesores del Departamento de Biología: Fagua Álvarez, Edwin Acosta y María del Consuelo Burbano, por la oportunidad de revisar y divulgar estos temas.

REFERENCIAS

- Armenteras D, Cabrera E, Rodríguez N, Retana J. National and regional determinants of tropical deforestation in Colombia. *Reg Environ Change*. 2013;13(6):1181-1193. Doi:10.1007/s10113-013-0433-7
- Aronson J, Clewell AF, Blignaut JN, Milton SJ. Ecological restoration: A new frontier for nature conservation and economics. *J Nat Conserv*. 2006;14(3):135-139. Doi:10.1016/j.jnc.2006.05.005
- Bar-Massada A, Kent R, Carmel Y. Environmental heterogeneity affects the location of modelled communities along the niche–neutrality continuum. *Proc R Soc B*. 2014;281(1783):20133249. Doi:10.1098/rspb.2013.3249
- Bell SS, Fonseca M, Motten LB. Linking restoration and landscape ecology. *Restor Ecol*. 1997;5(4):318-323. Doi:10.1046/j.1526-100X.1997.00545.x
- Berg LS. The objectives and tasks of geography. *Proceedings of the Russian Geographical Society*. 1915;15(9):463-475.
- Burel F, Baudry J. *Ecología del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa Libros SA; 2001. p. 13-16.
- Cairns J. Disturbed ecosystems as opportunities for research in restoration ecology. In: Jordan WR, Gilpin, M, Aber J, editors. *Restor Ecol: A Synthetic Approach to Ecological Research*. Cambridge: Cambridge University Press; 1987. p. 307-320.
- Chomitz KM, Thomas TS. Determinants of land use in Amazonia: a fine scale spatial analysis. *Am J Agric Econ*. 2003;85(4):1016-1028. Doi:10.1007/s10531-015-0981-x
- Collins S. Interaction of disturbances in Tallgrass prairie: a field experiment. *Ecology*. 1987;68(5):1243-1250. Doi:10.2307/1939208
- Defries RS, Rudel T, Uriarte M, Hansen M. Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nat Geosci*. 2010;3(3):178-181. Doi:10.1038/ngeo756
- Ehrenfel JG. Defining the Limits of Restoration: The Need for Realistic Goals. *Restor Ecol*. 2000;8(1):2-9. Doi:10.1046/j.1526-100x.2000.80002.x
- Farina A. *Landscape ecology in action*. Holanda: Springer-Science Business Media, B.V; 2000. p. 317.
- Forman RTT. *Land Mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge: Cambridge University Press; 1995. 656 p.
- Forman RTT, Godron M. *Landscape Ecology*. New York: John Wiley y Sons; 1986. 640 p.
- Geist HJ, Lambin EF. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. *BioScience*. 2002;52(2):143-150. Doi:10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO
- Herrick JE, Schuman GE, Rango A. Monitoring ecological processes for restoration projects. *J Nat Conserv*. 2006;14(3):161-171. Doi:10.1016/j.jnc.2006.05.001
- Higgs E, Falk D, Guerrini A, Hall M, Harris J, Hobbs R, *et al*. The changing role of history in restoration ecology. *Front Ecol Environ*. 2014;12(9):499-506. Doi:10.1890/110267
- Jongman R. Nature conservation planning in Europe: developing ecological networks. *Landscape Urban Plan*. 1995; 32:169-183. Doi:10.1016/0169-2046(95)00197-O
- Kindermann G, Obersteiner M, Sohngen B, Sathaye J, Andrasko K, Rametsteiner E, *et al*. Global cost estimates of reducing carbon emissions through avoided deforestation. *P Nat Acad Sci-Biol*. 2008;105(30):10302-10307. Doi:10.1073/pnas.0710616105
- Lake PS. On the maturing of restoration: Linking ecological research and restoration. *Ecol Manage and Resto*. 2001;2(2):110-115. Doi:10.1046/j.1442-8903.2001.00074.x
- Li H, Reynolds J. On definition and quantification of heterogeneity. *Oikos*. 1995;73(2):280-284. Doi:10.2307/3545921
- Lindenmayer DB, Fischer J. *Habitat fragmentation and landscape change. An ecological and conservation synthesis*. Melbourne: CSIRO Publishing; 2006. p 1-11.
- Mertens B, Lambin EF. Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon of diverse deforestation. *Appl Geogr*. 1997;17(2):143-162.
- Naveh Z. Biocybernetic perspectives of landscape ecology and management. In: Moss MR, editor. *Landscape Ecology and Management*. Montreal: Polyscience; 1988. p. 23-34.
- Naveh, Z. Epilogue: Toward a transdisciplinary science of ecological and cultural landscape restoration. *Restor Ecol*. 2005;13(1):228-234.
- Pickett ST, White P. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. San Diego, California: Academic Press Inc; 1985; p. 3-13.
- Pickett ST, Kolasa J, Armesto JJ, Collins SL. The concept of ecological disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos*. 1989;54:129-136.
- Reice SR. Nonequilibrium, determinants of biological community structure. *Am Sci*. 1994;82:424-435.
- Rudel TK. Shrinking tropical forests, human agents of change, and conservation policy. *Conserv Biol*. 2006;20(6):1604-1609.
- Santos y Ganges L, Herrera Calvo PM. *Planificación espacial y conectividad ecológica: los corredores ecológicos*. Valladolid, España: Universidad de Valladolid; 2013. 298 p.
- Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de Trabajo sobre Ciencia y Políticas. *Principios de SER Internacional sobre restauración ecológica*. www.

- ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International. 2004.
- Sun-Kee H, Kang H, Kim E-S, Kim JG, Kim C-H, Lee E, *et al.* Application of landscape ecology to ecological restoration. *Korean J Ecology*. 2004;27(5):311-323. Doi:10.5141/JEFB.2004.27.5.311
- Troll C. Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. Bln Selbstvlg. Berlin, Alemania; 1939. p. 241-298.
- Turner MGM, Gardner RHR, O'Neill RRV. *Landscape ecology in theory and practice. Pattern and process.* New York: Springer Verlag; 2001. 401p.
- Turner MG. Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology*. 2010;91(10):2833-2849. Doi:10.1890/10-0097.1
- Veblen TT, Hadley KS, Nel EM, Kitzberger T, Reid M, Villalba R. Disturbance regime and disturbance interactions in a Rocky Mountain subalpine forest. *J Ecol*. 1994;82:125-135. Doi:10.2307/2261392
- Van diggelen R, Grootjans AP, Harris JA. Ecological Restoration: State of the Art or State of the Science?. *Restor Ecol*. 2001;9(2):115-118. Doi:10.1046/j.1526-100x.2001.009002115.x
- Van der Maarel E. Vegetation dynamics: patterns in time and space. *Vegetation*. 1988;77:7-19. Doi:10.1007/978-94-009-2275-4_1
- Wiens JA. Riverine landscapes: taking landscape ecology into the water. *Freshw Biol*. 2002;47(4):501-515. Doi:10.1046/j.1365-2427.2002.00887.x

