Serie «Apuntes de Cátedra» Nº 2



El paisaje en la ordenación forestal

Dr. Francisco Carabelli

2005



Cátedra de Ordenación Forestal

Universidad Nacional de la Patagonia



El paisaje en la ordenación forestal

«Hoy ya no es comprensible que no se entienda la envergadura e importancia del uso de los bosques con criterios ecosistémicos y de conservación para la creación de riqueza y de trabajo y para el mejoramiento sustancial de la calidad de vida, de la belleza del paisaje, de la pureza del medioambiente»

Claudio Donoso, Profesor Emérito, Universidad Austral de Chile (2003)

Introducción

Si se considera al paisaje como un elemento incorporado a todos los aspectos de cualquier tipo de gestión del ambiente, es evidente que la calidad del mismo es un atributo que no puede o no debe manejarse en forma independiente de dicha gestión (modificado de Crow 1978, *fide* González Doncel 2001). En la gestión forestal en particular, el *paisaje de bosque* y no ya solamente el bosque empieza a identificarse como un elemento central tanto en el marco de la planificación de las actuaciones como de la instrumentación de las mismas.

En el proceso de planificación forestal, teniendo en cuenta la multiplicidad de usos del bosque y la posible incompatibilidad entre algunos de ellos, habrá entonces que definir y valorar alternativas de uso teniendo en cuenta tanto la oferta y demanda de productos tangibles e intangibles del bosque –es decir, de bienes y servicios- como las características ecológicas y paisajísticas del mismo.

Por lo tanto, habrá que definir y ponderar la importancia de los criterios que servirán de base para evaluar tales alternativas. Entre ellos, y aunque hasta ahora no haya estado expresamente contemplado en el ámbito de la ordenación de bosques, será necesario considerar también el paisaje forestal en términos de calidad y fragilidad.

Con esta perspectiva, el mantenimiento de la calidad del paisaje "de partida" o eventualmente su mejoramiento, puede representar más un condicionante a la gestión que un objetivo de la misma. No obstante, hay cada vez más situaciones en las que el paisaje adquiere una relevancia tal que todas o una parte sustancial de las restricciones a la gestión son impuestas por criterios estéticos, paisajistas o bien de *preservación de la funcionalidad* del paisaje.

En tales circunstancias, mantener o mejorar la calidad del paisaje pasa de ser una restricción a ser un objetivo de la planificación forestal, para cuyo cumplimiento la ordenación de bosques más ortodoxa necesitará tanto ampliar su enfoque como incorporar otras técnicas. En este sentido, la ordenación forestal tal como se ha desarrollado y formalizado, no se ha caracterizado por crear o diseñar paisajes sino que al aplicar una

silvicultura determinada ha modificado con mayor o menor intensidad un paisaje ya existente, al intervenir en uno o más de sus componentes.

Aún cuando la incorporación del paisaje al interior de la disciplina puede no constituir (aún) un nuevo paradigma, las consideraciones efectuadas ponen de manifiesto que es no sólo oportuno sino pertinente "mirar" a la ordenación forestal desde esta perspectiva y analizar sus principales elementos constituyentes.

Concepto de paisaje

Hay muchas diferentes interpretaciones del término "paisaje", aunque en general, las definiciones incluyen invariablemente un área de tierra que contiene un mosaico de parches o elementos de paisaje. Forman y Godron (1986), por ejemplo, definieron el paisaje como un área heterogénea de terreno compuesta de un agrupamiento o mosaico de ecosistemas interactivos que se repite en forma similar a través del área considerada. Sandner (1991) por su parte señala que un paisaje es un sistema territorial compuesto por elementos naturales y elementos antropogénicos socialmente determinados que se correlacionan entre sí, definición que puede aproximarse más al contexto que nos ocupa. Lo que en todo caso debe ponerse de manifiesto es que la definición acepta muchas variantes dependiendo del contexto de investigación o de manejo.

Otra dimensión de la concepción de paisaje tiene que ver con su tamaño. De manera general puede decirse que cada organismo escala el paisaje de forma diferente (figura 1), por lo que no hay un tamaño absoluto para un paisaje. Por ende, podría decirse que los paisajes ocupan generalmente alguna escala especial intermedia entre el rango de hábitat o territorio normal de un organismo y su distribución regional. Desde la perspectiva de un organismo, el tamaño de un paisaje varía dependiendo de qué constituye un mosaico de hábitat o parches de recursos que sean significativos para ese organismo particular.

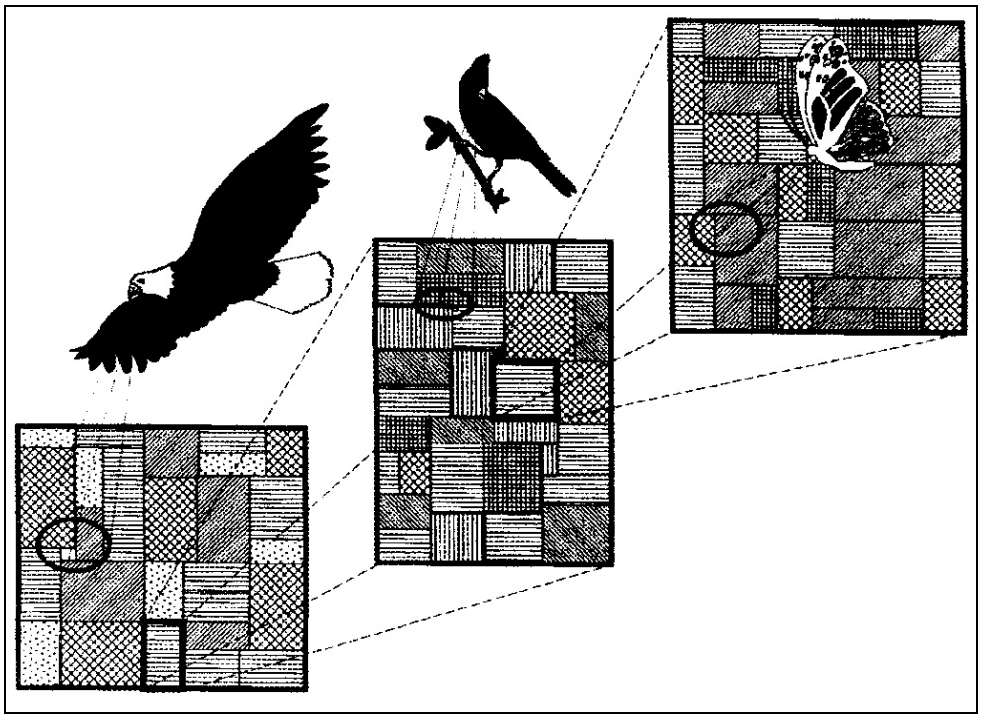


Figura 1. Vista multiescalar del "paisaje" desde perspectivas centradas en organismos. Lo que constituye un simple parche de hábitat para el águila, puede constituir un paisaje completo para el cardenal y de la misma forma podría suceder para la mariposa, que percibe parches a una escala más fina (Fuente: McGarigal y Marks, 1995).

En síntesis, hay muchas maneras apropiadas de definir un paisaje dependiendo del fenómeno en consideración. Un aspecto importante es que un paisaje no se define necesariamente por su tamaño; más que ello, se define por un mosaico interactivo de parches relevante al fenómeno en consideración -a cualquier escala-. Le incumbe al investigador o al administrador/gestor definir el paisaje de una forma apropiada, teniendo en cuenta no sólo los objetivos que guían el proceso de que se trate sino y principalmente las restricciones que el ambiente naturalmente impone. Este circunstancia pone explícitamente de manifiesto la exigencia de conocer más integralmente y en profundidad el ambiente sobre el que se intervendrá y refuerza la noción de que la gestión de bosques en particular debe cada vez más considerar el empleo de bases conceptuales y herramientas técnicas para el manejo ecosistémico.

Patrones de paisaje

Un "patrón" es una estructura característica en la naturaleza en sí misma o en los datos extraídos de la naturaleza, que es claramente identificable. Como tal, un patrón es algo que va más allá de la variación aleatoria, indicando así un proceso subyacente que genera este patrón (Grimm et al. 1996, *fide* Wiegand et al. 2003).

Los paisajes reales (a cualquier escala) contienen patrones espaciales complejos en la distribución de los recursos, que varían en el tiempo. Estos patrones pueden ser cuantificados de muchas maneras, dependiendo del tipo de datos colectados, la manera en que se colectaron y los objetivos de la tarea o de la investigación. Ampliamente considerado, el análisis de patrones de paisaje involucra cuatro tipos básicos de datos espaciales que corresponden a diferentes representaciones del patrón de paisaje.

Patrones espaciales de puntos

Representan colecciones de entidades donde las localizaciones geográficas de estas entidades tienen interés primario más que cualquier atributo cuantitativo o cualitativo de la entidad en sí misma. Un ejemplo familiar es un mapa de todos los árboles en un rodal forestal, donde los datos consisten en una lista de árboles referenciados por sus localizaciones geográficas. Típicamente, los puntos estarían rotulados por especie y tal vez todavía especificados por sus tamaños (un patrón marcado de puntos). *La meta del análisis de patrones de puntos con tales datos es determinar si los puntos están más o menos agrupados que los esperados por azar y/o encontrar la/s escala/s especial/es a las cuales los puntos tienden a estar más o menos agrupados que la/s esperada/s por azar* (figura 2) *(*Greig-Smith 1983, Dale 1999, *fide* McGarigal 2001).

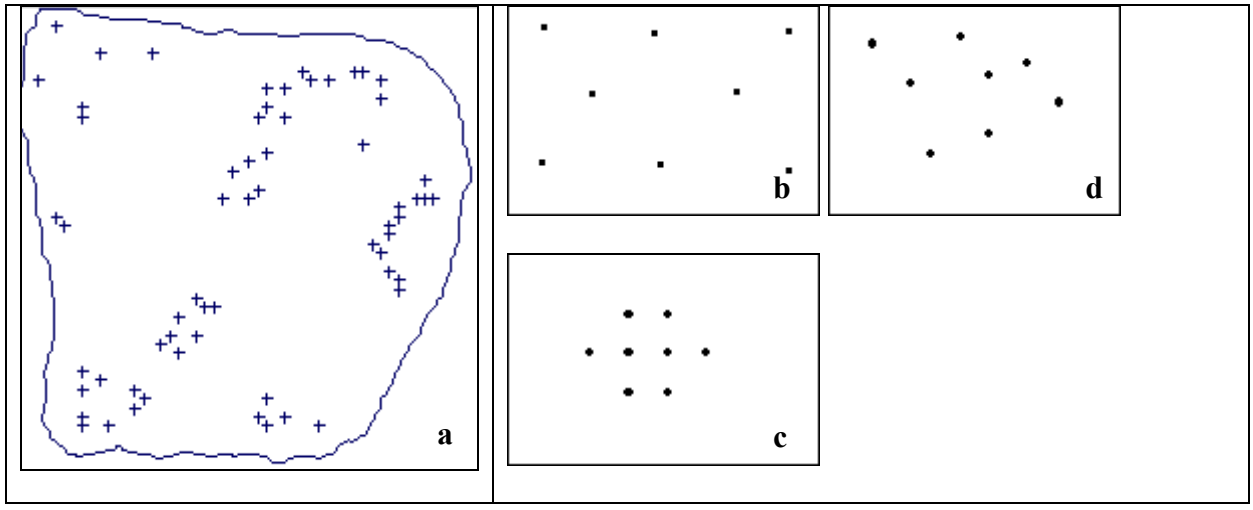


Figura 2. Ejemplo de un patrón espacial de puntos (a) y de las principales variantes de distribución: repulsión (b), agregación (c), aleatoriedad (d).

Patrones lineares de redes

Representan colecciones de elementos lineales del paisaje que se intersectan para formar una red (figura 3). Un ejemplo familiar es un mapa de arroyos o áreas ribereñas en una cuenca, donde los datos consisten en nodos y encadenamientos (corredores que conectan nodos). El área interviniente es considerada la matriz y típicamente se ignora (es decir, se trata como ecológicamente neutral). A menudo, los nodos y corredores se caracterizan más por la composición (por ej. tipo de vegetación) y carácter espacial (por ej. ancho). Como

con los patrones de puntos, el interés primario se asigna a la localización geográfica y al arreglo (disposición) de los nodos y corredores. *La meta del análisis de patrones lineales de redes con tales datos es caracterizar la estructura física (por ej. densidad de corredores, tamaño de malla, conectividad de la red y circularidad) de la red* (Forman 1995, *fide* McGarigal 2001).

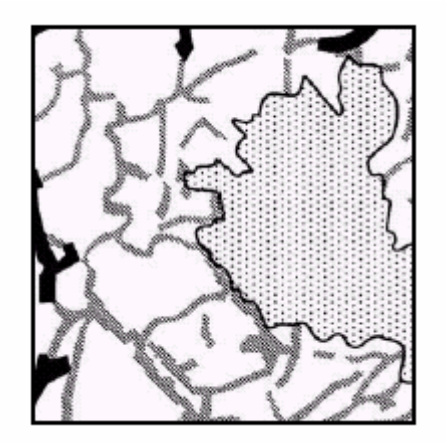


Figura 3. Patrón lineal de paisaje. Los segmentos en gris representan hábitats lineales con árboles, el área con malla de puntos es una zona boscosa y las áreas sombreadas en negro son sitios poblados (Fuente: Bennett 1998).

Patrones de superficie

Representan medidas cuantitativas que varían continuamente a través del paisaje; no hay límites explícitos, es decir, los parches no están delineados. Por ello, los datos pueden conceptualizarse como representando una superficie tridimensional, donde el valor medido en cada localización geográfica se representa por la altura de la superficie. Un ejemplo familiar es un modelo digital del terreno (figura 4), pero cualquier medida cuantitativa debe ser tratada de este modo (por ej. biomasa vegetal, índice de área foliar, nitrógeno del suelo, densidad de individuos). *Todas las técnicas de patrones de superficies comparten la meta de describir la intensidad y escala del patrón en la variable cuantitativa de interés.*

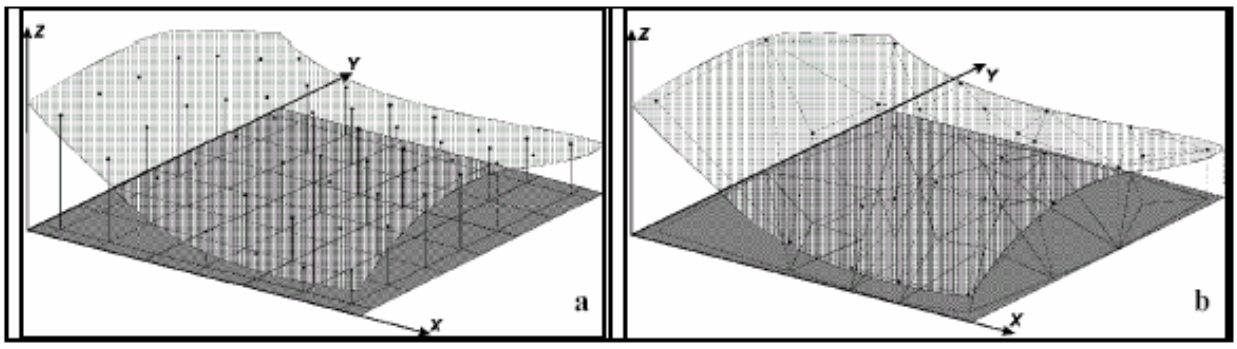


Figura 4. Ejemplo de un modelo de superficie generado por una retícula rectangular (a) o triangular (b) (Fuente: tutorial del programa SPRING www.dpi.inpe.br/spring/portugues/material.html).

Patrones de mapas categóricos (o temáticos)

Representan datos en los cuales la propiedad del sistema que interesa cuantificar se presenta como un mosaico de parches discretos (figura 5). Desde una perspectiva ecológica los parches representan áreas relativamente discretas de condiciones ambientales relativamente homogéneas a una escala particular. Un ejemplo familiar es un mapa de tipos de cobertura de la tierra, donde los datos consisten en polígonos (formato vectorial) o celdas de grilla (formato raster) clasificadas en clases discretas de coberturas de terreno. Hay muchos métodos para derivar un mapa categórico (mosaico de parches). Los parches se pueden clasificar y delinear cualitativamente a través de una interpretación visual de los datos (por ej. delineando polígonos de vegetación a través de la interpretación de fotos aéreas), como es típicamente el caso para mapas vectoriales construidos a partir de líneas digitalizadas. Alternativamente, con grillas raster, la información cuantitativa en cada localización puede usarse para clasificar celdas en clases discretas y para delinear parches. *Cualquiera sea el formato de los datos (raster o vector) y el método de clasificar y delinear parches, la meta del análisis del patrón de mapas categóricos con tales datos es caracterizar la composición y configuración espacial de un mosaico de parches.*



Figura 5. Un ejemplo de un mapa de mosaico de paisaje (Fuente: Wiens et al. 1993).

El concepto de escala

La escala se caracteriza por el grano y la extensión. El **grano** se refiere a la más fina resolución espacial dentro de un grupo dado de datos; por ejemplo, el grano atañe al tamaño de celda para mapas de grilla o a la mínima unidad de mapeo de mapas de polígonos. La **extensión** se refiere al tamaño del área completa de estudio (Turner et al. 2001). El grano y la extensión son sencillos de conceptuar cuando se consideran imágenes obtenidas por técnicas de percepción remota. Los diferentes sensores de los satélites (figura 6) tienen diferentes tamaños de celda o grano; por ejemplo, hay un tamaño de celda de 10x10m para la imagen pancromática SPOT, de 30x30m para la imagen del Mapeador Temático Landsat y de 90x90m para la ya antigua imagen del Barredor Multiespectral Landsat. La extensión puede variar independientemente del grano, aunque existe algún grado de correlación; por ejemplo, una pequeña extensión requerirá un tamaño de grano pequeño. Cuando se dice que un patrón, proceso o fenómeno es

dependiente de la escala, se quiere significar que cambia con el grano o la extensión de la medición.

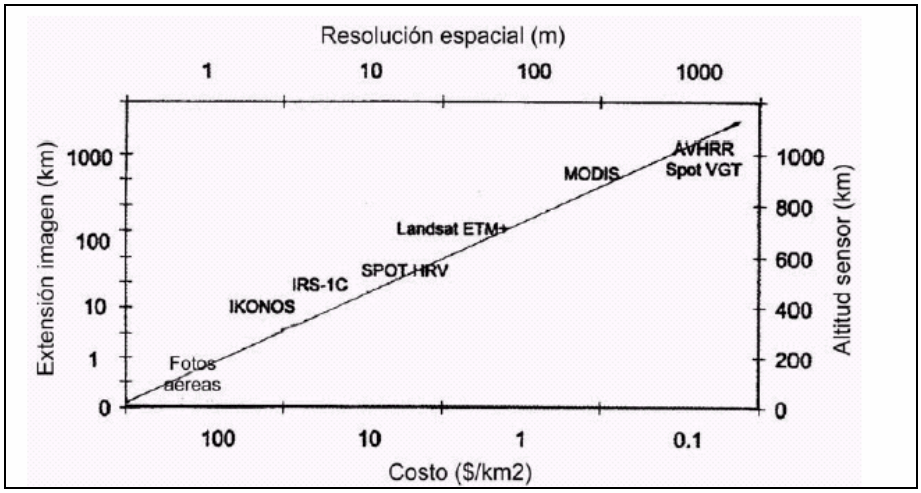


Figura 6. Relaciones relativas entre extensión aproximada de la imagen (ancho), resolución espacial, elevación del sensor y costos. Los tipos de sensores más comunes están colocados en la localización aproximada que sus características específicas sugieren (Fuente: Adaptado de Franklin et al. 2002).

Típicamente, sin embargo, no sabemos cual sería la resolución apropiada. En este caso, es mucho más seguro elegir un grano más fino que el que se cree que es el importante. Conviene aquí recordar que el grano establece la resolución mínima de la investigación o análisis que se esté llevando a cabo. Una vez fijado, se puede siempre "disolver" hacia un grano más grueso. Sumado a ello, se puede siempre especificar una unidad mínima de mapeo que es más gruesa que el grano. Esto es, se puede especificar el tamaño mínimo de parche a ser representado en el paisaje, y éste puede ser fácilmente manipulado por encima de la resolución de los datos. Es importante destacar que las capacidades técnicas de un SIG con respecto a la resolución de la imagen pueden exceder largamente las capacidades técnicas del equipo de percepción remota. Así, es posible generar imágenes SIG a una resolución demasiado fina de los datos que están siendo representados, lo que resulta en una representación más compleja del paisaje que la que puede obtenerse verdaderamente a partir de los datos.

Una fuente de confusión es que los ecólogos del paisaje y los geógrafos –y con estos últimos también profesionales de otras disciplinas, tal como los forestales- usualmente se refieren a lo opuesto cuando dicen escala *grande* o *pequeña*. El uso extendido en geografía de la **escala cartográfica** se refiere al grado de reducción espacial indicando la longitud usada para representar una unidad de medida más grande. La escala cartográfica se expresa típicamente como la razón o fracción representativa de ladistancia sobre el mapa a la distancia sobre la superficie de la Tierra que está representada sobre el mapa o fotografía aérea, por ejemplo 1:10.000 o 1:100.000. Cuando los geógrafos o los cartógrafos dicen escala grande se están refiriendo a una resolución muy fina (por ejemplo 1:5.000), lo que en la práctica significa un mapa muy grande de pequeña extensión espacial; del mismo

modo, cuando dicen escala pequeña, se refieren a una resolución muy grosera, o sea mapas de grandes áreas que no contienen mucho detalle (por ejemplo 1:250.000). Este uso de pequeño y grande es exactamente el opuesto de lo que los ecólogos del paisaje quieren significar con estos términos. En esta disciplina, entonces, escala fina se refiere a pequeñas áreas y gran resolución, mientras que escala amplia o grande se refiere a grandes áreas, con baja resolución y poco detalle. Algunos atributos de las escalas finas y amplias se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación de los atributos de estudios de escalas fina y amplia (Fuente: Turner et al. 2001).

Atributo	**Escala**	
	Fina	**Amplia**
Detalle de la resolución	Alto	Bajo
Efectos del error de muestreo	Grande	Pequeño
Manipulación experimental	Posible	Dificultosa
Generalización	Baja	Alta
Replicación	Posible	Dificultosa
Rigor	Alto	Bajo
Adecuación del muestreo	Buena	Pobre
Longitud del estudio	Corta	Larga
Tipo de reconocimiento	Cualitativo	Cuantitativo

En términos prácticos, la escala a la que se hace cualquier medición, por ejemplo, el tamaño del cuadrado, la longitud de la transecta, el área del censo, o el tamaño de la celda de la grilla en datos de sensores remotos, influencia la respuesta numérica obtenida.

Otra consideración en la terminología referida a escala es la distinción entre escala absoluta y escala relativa. Generalmente se habla de **escala absoluta**, esto es, la distancia actual, el tiempo, el área o similar. Por el otro lado, habría que considerar la distancia relativa a la energía que un animal necesitaría gastar para viajar entre dos puntos diferentes de un paisaje. Con esta **escala relativa**, dos puntos que son físicamente los más cercanos entre sí para, por ejemplo, el vuelo de un ave, pueden estar bastante distantes –en términos de la energía necesaria para ir de uno al otro- si están separados por una montaña. Del mismo modo, dos puntos físicamente muy distantes, pero conectados por un nivel del terreno que es fácilmente atravesable, pueden tener una distancia relativa más pequeña.

La escala y la teoría de la jerarquía

Los conceptos de escala y jerarquía están indisolublemente conectados. En la literatura ecológica, la jerarquía se identifica usualmente con el concepto de niveles de organización. Una **jerarquía** se define como un sistema de interconexiones dentro del cual el nivel superior restringe los niveles inferiores en varios grados, dependiendo de las restricciones de tiempo del comportamiento (Turner et al. 2001). Esto quiere decir que, dentro de un sistema jerárquico, los niveles se distinguen por diferencias en las tasas, o

frecuencias, de sus procesos característicos. Un organismo individual, por ejemplo, puede interactuar con otros organismos individuales porque todos ellos operan a la misma escala de espacio y tiempo. Sin embargo, un organismo individual no puede interactuar con un bioma pues se trata de órdenes de magnitud diferentes en escala. Para el organismo individual, el bioma es un contexto relativamente constante dentro del cual él opera. De este modo, las escalas temporales sirven como un importante criterio para identificar niveles dentro de una jerarquía.

Un importante concepto proveniente de la teoría de la jerarquía es la importancia de considerar tres niveles jerárquicos en cualquier estudio. El *nivel focal* o nivel de interés se identifica como una función de la pregunta u objetivo del estudio. Por ejemplo, el responder a la pregunta: ¿Cuál es el efecto de la regeneración de una especie forestal exótica sobre la vegetación nativa adyacente? requeriría poner el foco sobre árboles individuales o a lo sumo sobre rodales, mientras que el dar respuesta a la pregunta: ¿Cuál es el efecto de las plantaciones de especies exóticas que reemplazan bosque nativo en la variación de la diversidad biológica de un territorio? requeriría enfocarse en amplias porciones de bosque, es decir, grandes conjuntos de rodales. Los otros dos niveles son aquellos por encima y por debajo del nivel focal. El nivel por encima del focal restringe y controla los niveles inferiores, brindando un contexto para el nivel focal. El nivel por debajo del focal provee los detalles necesarios para explicar el comportamiento observado al nivel focal.

La teoría de la jerarquía también sugiere que en los paisajes existirán múltiples escalas de patrones a causa de las múltiples escalas a las cuales los procesos están actuando. Consideremos los procesos que pueden ocasionar un patrón en un paisaje de bosque. Sobre amplias escalas de espacio y tiempo, los procesos geomorfológicos resultan en distribuciones de sustrato y suelo que influencian la ocurrencia en diferentes posiciones de las especies forestales. Dentro del bosque en desarrollo, el patrón y frecuencia de grandes disturbios, tales como incendios o plagas, pueden generar un patrón de grano grueso de diferentes estadíos sucesionales a través del paisaje. Los procesos locales de muerte de árboles individuales pueden resultar en pequeños claros en el dosel o canopia, distribuidos a través del paisaje forestal. Colectivamente, entonces, el patrón espacial de las comunidades forestales en este paisaje a cualquier escala de tiempo dada puede reflejar estos tres procesos operando sobre diferentes escalas de espacio y tiempo.

De esta forma, la teoría de la jerarquía nos dice que la atención debería enfocarse directamente en las escalas a las cuales ocurren los fenómenos de interés, que no hay una única escala correcta para el estudio de paisajes o cualquier sistema ecológico, y que si cambiamos las escalas, los procesos relevantes o aun la dirección de las relaciones que observamos pueden cambiar. La escala de interés debe establecerse en función de la pregunta o fenómeno de interés. Los procesos de escala fina pueden ser vistos como los detalles requeridos para explicar el fenómeno a la escala focal, mientras que los patrones de escala amplia son las restricciones que limitan el rango potencial de los procesos de cambio.

Estudio del paisaje. El modelo de parche-corredor-matriz

Las técnicas de las que se puede valer la ordenación forestal para no deteriorar, e inclusive mejorar, el paisaje sobre el que se interviene, conciernen al manejo de los bordes, de la forma, de la escala –que alude al tamaño relativo de la unidad de manejo en relación con el paisaje circundante- y de la distribución espacial y temporal de las unidades de intervención silvícola (Gonzalez Doncel 2001). Este análisis conlleva considerar al paisaje como una totalidad, *una síntesis verdadera* en la que los elementos se transforman en nuevas formas cuando se combinan (Forman y Godron 1986), es decir, el paisaje como un todo tiene propiedades que sus partes no poseen. En este contexto los conceptos sobre jerarquía son sin duda aplicables para encarar el estudio de un paisaje, pues los elementos que lo constituyen pueden ensamblarse en una jerarquía. Un jardín, por ejemplo, es un elemento cuando se ve desde el inicio de un sendero, pero se sumerge en el elemento "valle" cuando se observa desde una cima. La **configuración** de estos elementos –su localización y su yuxtaposición- es una característica que debe ser descripta. La mayoría de los paisajes contiene parches discretos producidos por disturbios naturales y/o antrópicos y por la variación ambiental subyacente. Estos paisajes pueden descomponerse en: 1) parches, 2) corredores y 3) matriz. Algunos paisajes son todo parches, mientras que otros pueden contener solamente una matriz bastante indiferenciada, pero la mayoría contiene una mezcla de parches, corredores y matriz.

El concepto de parche

Los parches no se definen arbitrariamente, sino que reflejan los procesos subyacentes y las consecuentes estructuras en los paisajes. Sin embargo, mientras que algunos procesos tales como fuegos naturales pueden producir parches reales de vegetación sucesional, los organismos y otros procesos pueden no siempre responder a este parcheado. Los grandes predadores, tales como los lobos por ejemplo, pueden focalizarse sobre la presa más que en la estructura forestal, de modo que una distinción entre parches de vegetación sucesional temprana y tardía es relativamente poco importante para sus requerimientos de hábitat. Es por lo tanto importante realizar la distinción entre procesos que producen el

parcheado en los paisajes y las respuestas funcionales de los organismos y otros procesos a este parcheado.

De acuerdo con Forman y Godron (1986) los parches pueden categorizarse de acuerdo con su origen o mecanismo causal. Así, se pueden reconocer cuatro tipos básicos de parche: de disturbio, remanentes o vestigiales, de recursos ambientales e introducidos.

Parches de disturbio**:** el disturbio de una pequeña área en una matriz produce este tipo de parche. Eventos tales como deslizamientos de barro, avalanchas, tormentas de viento o de nieve, explosiones de herbívoros y muchos otros cambios naturales causan estos parches, que generalmente desaparecen más o menos rápidamente, pues muestran tasas de renovación o recambio más elevadas y edades promedio o tiempos de persistencia más bajos. Actividades humanas tales como extracciones de madera, quemas de pastizales y explotaciones mineras en corredores, entre otras, también generan este tipo de parches, que pueden persistir por largo tiempo.

Parches remanentes o vestigiales: son causados por un disturbio ampliamente extendido que rodea a un área pequeña, es decir, la inversa del mecanismo que produce el parche de disturbio. En este caso, un remanente de la comunidad vegetal y animal previa está alojado en una matriz que ha sido disturbada. Hay varios paralelos entre estos parches y los de disturbio que se hacen evidentes: ambos se originan con disturbios, bien naturales o bien humanos. En ambos casos ocurren grandes cambios en el tamaño poblacional, inmigración y extinción al comienzo del evento y a estos procesos les sigue el de sucesión. Ambos desaparecen cuando matriz y parche convergen en similitud y ambos tienen una alta tasa de renovación.

En algunos paisajes ocurren *parches regenerados*, que evocan los parches remanentes aunque su origen es distinto. Se trata, por ejemplo, de pequeños sectores dentro de una gran área de disturbio crónico, que quedan libres de disturbio, permitiendo que acontezca el proceso de sucesión. Ejemplos de ello pueden ser una nueva superficie boscosa “natural” en un paisaje agrícola o ecosistemas protegidos en un área de frecuentes incendios causados por el hombre.

Parches de recursos ambientales: los tipos de parches previamente descriptos deben su existencia al disturbio. En el caso de los parches de recursos ambientales, en cambio, los organismos del parche difieren de aquellos de la matriz circundante porque las condiciones ambientales o los recursos del parche son diferentes. Expresado de otro modo, el origen de cada parche se debe a lo heterogéneo o a la distribución parcheada en el espacio de recursos ambientales tales como agua y suelo para las plantas o agua y flores para algunas comunidades animales. Un ejemplo de este tipo de parches puede ser una zona de turberas dejadas por actividad glaciar.

Parches Introducidos: cuando el hombre introduce organismos a un área, se genera un parche de este tipo. Recuerda a un parche de disturbio, en el sentido que el disturbio de una pequeña área inicia el parche. En todos los casos, las especies introducidas, sean plantas, animales o personas, ejercen un efecto dominante y continuo sobre el parche.

Otras especies pueden percibir el parcheado a diferentes escalas y de una manera distinta que los tipos de parches que se han descripto (figura 7). Los parches que perciben los organismos pueden reflejar sus necesidades individuales de recursos, de modo que los parches de bosques que nosotros podríamos distinguir, pueden ser indistinguibles para un animal que los usa solamente como refugio.

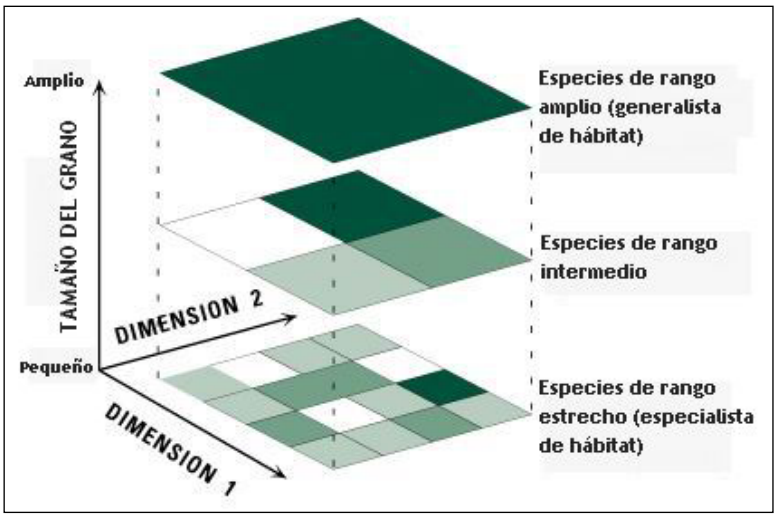


Figura 7. Modelo conceptual de la estructura del hábitat en el cual la homogeneidad y la heterogeneidad dependen de la especie y de la resolución a la cual las especies perciben su ambiente (Fuente: Turner et al. 2001).

Recapitulando, puede plantearse que el parcheado producido por la variación ambiental, disturbios y actividades humanas puede mapearse objetivamente una vez que se han comprendido los procesos que condujeron al parcheado, y esto es sin duda de suma utilidad para abordar un proceso de planificación forestal. Sin embargo un parcheado asociado con un organismo cuyo estudio es de interés sólo puede determinarse y mapearse mediante el estudio de cada organismo.

La identificación de parches y su mapeo están limitados por la precisión y resolución de los datos disponibles. Los parches se determinan muy a menudo por lo que es visible en las imágenes obtenidas por percepción remota, tales como fotografías aéreas o imágenes satelitales.

El concepto de corredor

Los corredores son elementos lineales del paisaje que pueden definirse a partir de su estructura o de función. Forman y Godron (1986) definen los corredores como delgadas líneas de terreno que difieren de la matriz por ambos lados. Los corredores pueden ser líneas aisladas, pero están usualmente anexadas a un parche de alguna vegetación

relativamente similar. Estos autores se centraron en los aspectos estructurales de este elemento lineal del paisaje. Como una consecuencia de su forma y contexto, los corredores estructurales pueden funcionar como hábitat, conducto de dispersión o barreras. Existen tres tipos diferentes de corredores estructurales (figura 8): 1) corredores de línea, en los cuales el ancho del corredor es demasiado estrecho para permitir que desarrollen condiciones ambientales interiores, 2) corredores de tira o faja, en los cuales el ancho del corredor es lo suficientemente ancho para permitir que se desarrollen condiciones interiores y 3) corredores de flujo, que están constituidos por bandas de vegetación a lo largo de arroyos que difieren de la matriz circundante.

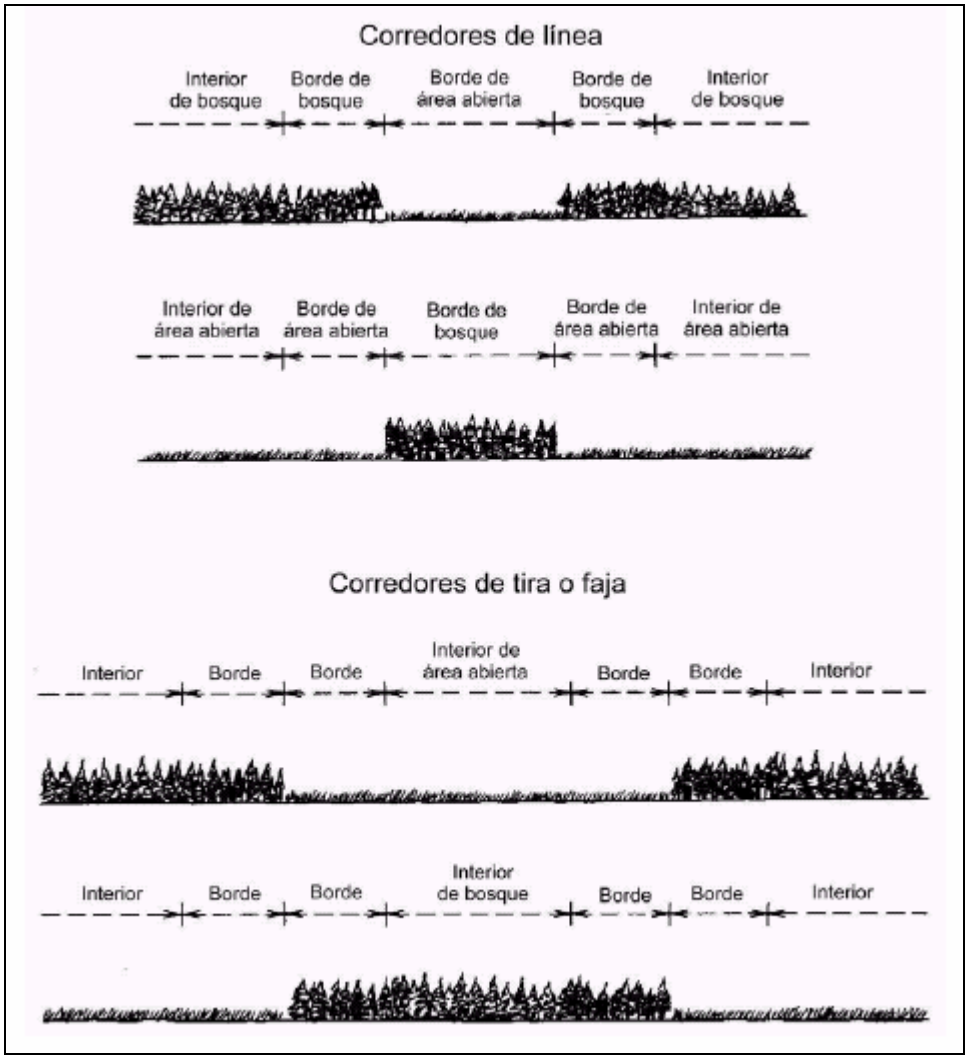


Figura 8. Representación esquemática de los corredores de línea, de tira y de flujo (Fuente: Adaptado de Forman y Godron 1986).

A modo de síntesis puede indicarse que los corredores se distinguen de los parches por su naturaleza lineal y pueden definirse sobre la base de su estructura, de su función o de ambas. Se originan por los mismos mecanismos que originan los parches. Cuando se ven desde el aire, la característica clave de los corredores es la conectividad, o la presencia de rupturas (= discontinuidades). Los corredores tienen estrechos gradientes climáticos y de suelos desde un lado al otro. El centro es típicamente un hábitat único parcialmente determinado por el transporte o movimiento que tiene lugar a lo largo del corredor.

El concepto de matriz

Como ya se señaló, un paisaje está compuesto por varios tipos de elementos. De ellos, la matriz es el más extenso y más conectado tipo de elemento y ejerce el rol dominante en el funcionamiento del paisaje (es decir, los flujos de energía, materiales y especies). En un área continua de bosque maduro en la que aparecen numerosos parches pequeños de disturbio (por ejemplo, parches de extracción de madera o sitios con derribos por viento), el bosque maduro constituye el tipo de elemento *matriz* porque es el más grande en extensión areal, está mayormente conectado y ejerce una influencia dominante sobre la flora y fauna del área y sobre los procesos ecológicos. Sin embargo, cuando se observa un paisaje es a veces difícil estimar el rol que tiene cada elemento del paisaje. Más aun, la designación del elemento matriz depende largamente del fenómeno en consideración. Por ejemplo, en el estudio de procesos geomorfológicos, el sustrato geológico puede servir para definir la matriz y los parches, mientras que en el estudio de poblaciones de vertebrados, por ejemplo, es la estructura de la vegetación la que puede emplearse con la misma finalidad. Sumado a ello, lo que constituye la matriz depende de la escala de investigación o de manejo. A una escala particular, por ejemplo, el bosque maduro puede ser la matriz con parches de disturbio alojados dentro de él; mientras tanto, a una escala más amplia, la tierra agrícola puede ser la matriz con parches de bosque maduro alojados dentro de ella.

La primera consideración en la diferenciación de parches de la matriz concierne a su proporción relativa y configuración, que varía ampliamente de paisaje a paisaje. La matriz es mucho más grande en el área total o, expresado de otra manera, representa una masa homogénea en la cual aparecen pequeños elementos diferenciados. Tiene generalmente límites cóncavos que encierran a otros elementos del paisaje. Está interconectada, actuando como un material de unión o aglutinante que rodea y cementa elementos independientes y ejerce una influencia dominante sobre la dinámica del paisaje como un todo. Seguidamente se analiza cada característica en forma más detallada.

Área relativa: Cuando un elemento en un paisaje es considerablemente más extenso que los otros, parece lógico decir que este tipo de elemento es la matriz. Y de esta manera, la/s especie/s que es/son dominante/s en la matriz es/son también predominante/s en el paisaje. En general, puede decirse que si un tipo de elemento del paisaje cubre más de 50%

de éste, es muy probable que sea la matriz. Por el contrario, si el tipo de elemento más extenso cubre menos que 50% de un paisaje, habrá características adicionales que serán importantes en la determinación del tipo matriz. En este aspecto, es oportuno señalar que los paisajes difieren en cuan uniformemente distribuidos a través del espacio están los variados elementos que lo constituyen. Esta uniformidad o irregularidad espacial sugiere que el área de la matriz no es usualmente suficiente como único criterio para reconocer una matriz.

Conectividad: el caso de un paisaje de redes de cercos es uno donde el área relativa como único criterio para distinguir una matriz puede ser engañoso. Estos cercos cubren generalmente menos de la décima parte del área total, sin embargo puede intuitivamente sospecharse que la red de cercos puede ser la matriz. Esta impresión se debe a la forma de la red, que encierra los campos. En este sentido, los cercos constituyen una pieza única continua de terreno que, por ejemplo, puede dibujarse sobre un mapa sin levantar el instrumento de dibujo. En contraste, cada campo en el paisaje debe ser coloreado separadamente. Para describir esta propiedad de la matriz de una manera precisa es conveniente usar el concepto matemático de conectividad que expresa que un espacio está completamente conectado si no está dividido en dos agujeros abiertos (es decir, no está cruzado por un límite cuyos extremos unen el perímetro del espacio). Un alto nivel de conectividad en un tipo de elemento del paisaje tiene varias consecuencias: 1) el elemento puede funcionar como una barrera física separando los otros elementos, 2) cuando la conectividad toma la forma de una intersección de líneas delgadas y elongadas, el elemento puede funcionar como una serie de corredores que facilitan tanto la migración como el intercambio de genes entre especies, 3) el elemento puede englobar otros elementos del paisaje para crear “islas” biológicas aisladas.

A causa de estos significativos efectos, cuando un elemento del paisaje está completamente conectado y engloba todos los otros, tiene que ser considerado la matriz. Sin embargo, la matriz no está habitualmente conectada completamente, sino que está rota o separada en varios fragmentos. En consecuencia, resulta prudente comenzar el análisis de un paisaje mediante la identificación simple de cada tipo de elemento presente antes de decidir cual de ellos es la matriz y cuales son parches y corredores. El segundo criterio para la identificación de la matriz es entonces el grado de conectividad. La matriz está más conectada que cualquier otro tipo de elemento del paisaje presente.

Control sobre la dinámica: El ejemplo del paisaje de cercos sugiere un tercer y más sensitivo criterio para la distinción de la matriz. En una red de cercos, éstos pueden ser altamente dinámicos, especialmente cuando están constituidos por especies sucesionales pioneras. Consecuentemente, los cercos actúan en estos casos como fuentes de especies y están preparados para iniciar la dinámica que conduzca el área completa hacia un estado estable primario u otra condición. De esta forma, la matriz ejerce un control principal

sobre la dinámica dando origen al futuro paisaje. El tercer criterio para la identificación de la matriz, en consecuencia, expresa que la misma ejerce el control más grande sobre la dinámica del paisaje que cualquier otro tipo de elemento del paisaje presente.

El primer criterio, área relativa, es el de más fácil estimación. El ultimo de ellos, control sobre la dinámica, es más difícil de evaluar mientras que el segundo, conectividad, es intermedio. Para determinar qué tipo de elemento es la matriz en un paisaje no familiar, es conveniente calcular el área relativa y los niveles de conectividad para todos los tipos de elementos del paisaje. Si uno de ellos cubre *ampliamente* más área que cualquier otro elemento, se designa como matriz. Si las áreas de los tipos de elementos más frecuentes son relativamente similares, el tipo con la más alta conectividad puede ser considerado matriz. Sin embargo, si la distinción de la matriz es todavía dudosa, deben hacerse mediciones de terreno o recurrir a información existente sobre la composición de especies y las características de la historia de vida, lo que permitirá estimar que tipo de elemento del paisaje ejerce el más alto grado de control sobre la dinámica del paisaje.

Heterogeneidad espacial y la importancia de cuantificar el patrón

La heterogeneidad espacial puede definirse como la complejidad y variabilidad de una propiedad del sistema en tiempo y espacio (Li y Reynolds 1994 *fide* Gustafson 1998). Una propiedad del sistema puede ser en este caso casi cualquier entidad medible, tal como la configuración del mosaico de paisaje, la biomasa vegetal, la precipitación anual o la concentración de nutrientes del suelo. La *estructura espacial* es una sección importante del concepto de heterogeneidad espacial y se refiere usualmente a la configuración espacial de la propiedad del sistema. La heterogeneidad espacial no es estática, como tampoco lo son los procesos ecológicos. La caracterización de la complejidad y variabilidad inherentes a la heterogeneidad espacial cobran especial relevancia cuando se pretende cuantificar un patrón de paisaje. A su vez, la cuantificación de los patrones de paisaje en distintos momentos de tiempo permite conocer, por ejemplo, cómo han cambiado en virtud de la ocurrencia de disturbios naturales y/o antrópicos y de su influencia sobre el/los proceso/s y/o elemento/s de interés. En nuestro caso, resulta de particular interés conocer el patrón del paisaje forestal, su variabilidad y el nuevo estado de heterogeneidad resultante como consecuencia de las intervenciones en el marco de un proceso de ordenación de bosques.

Cualquiera sea la fuente de información (por ejemplo, fotografías aéreas, teledetección digital, datos publicados y censos y datos mapeados de terreno), el análisis del patrón de paisaje se realiza generalmente sobre un conjunto de datos espaciales en el cual las imágenes o los datos espectrales han sido clasificados en algún número significativo de categorías. En ese contexto, se supone que los datos de paisaje organizados por esta clasificación son homogéneos, una suposición importante que se debe tener muy presente

cuando se interpretan datos de paisaje. La mayor parte de los investigadores y gestores almacena sus datos de paisaje en un SIG para facilitar la manipulación y la exhibición. La mayor parte de los programas de computación que han sido escritos para análisis de paisaje se desarrollaron para ser usados con datos raster, aunque hay también disponibles versiones basadas en vectores. En el formato de celda de grilla o raster, un paisaje se divide en una grilla de celdas cuadradas o hexagonales de igual tamaño (figura 9). El tamaño de las celdas de la grilla determina el grano o resolución de los datos del mapa. En el formato vectorial, las líneas se definen por conjuntos ordenados de coordenadas que definen los límites de los polígonos. Los polígonos pueden ser de tamaño variable, pero la mínima unidad de mapeo (tamaño del grano) corresponde al mínimo tamaño de parche que ha sido mapeado. El criterio para definir un polígono puede ser ciertamente arbitrario, dependiendo de este tamaño mínimo, de cuanta variación se permitirá dentro del parche y de los componentes del sistema que son relevantes al organismo o proceso de interés. Un paisaje puede exhibir muchas estructuras diferentes de polígonos, dependiendo de las propiedades del sistema que se miden. Por ejemplo, se obtienen mapas muy diferentes si se definen polígonos basados en tipos de bosques, edad de los rodales o cerramiento del dosel. De este modo, la estructura espacial puede estar en parte determinada por estas decisiones arbitrarias, más que estrictamente por las propiedades del sistema en sí mismo (Gustafson 1998).

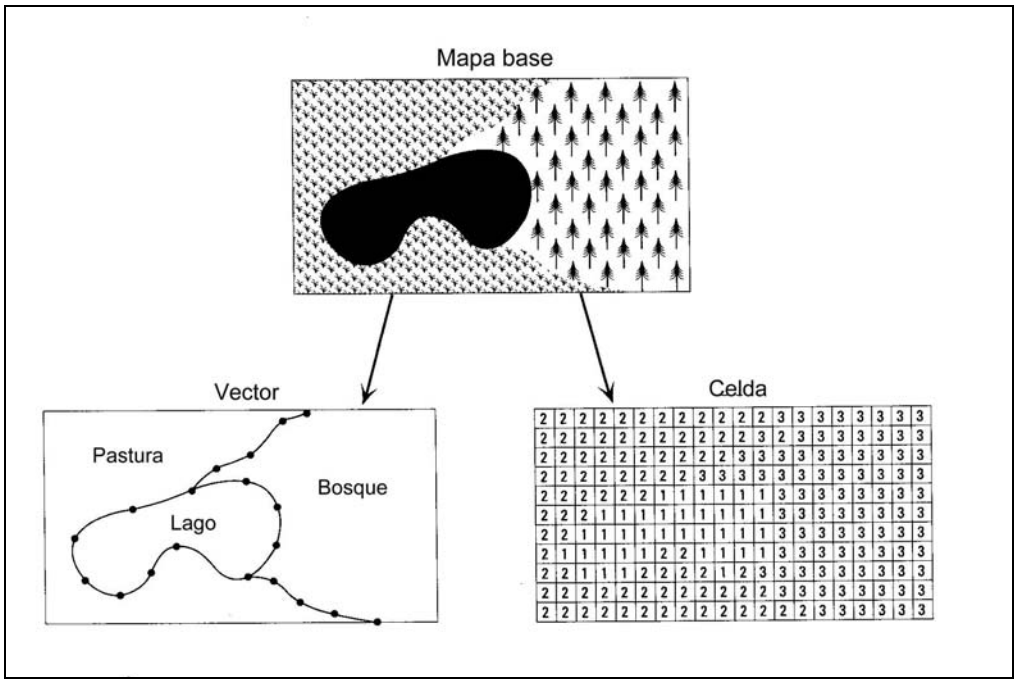


Figura 9. Metodologías principales de representación de datos espaciales en un SIG (Fuente: Tomado de Turner et al. 2001).

Es muy importante considerar la exactitud de los datos espaciales o de los mapas sobre los cuales se realizará el análisis del patrón de paisaje. A menudo, un analista usa datos

provenientes de otras fuentes, por lo que la calidad de esos datos debería conocerse. Dentro de los datos de percepción remota o SIG existe un número de potenciales fuentes de error reconocidas (Tabla 2). Es entonces muy prudente tener en cuenta que el producto es solamente tan bueno como los datos en los cuales se basa el análisis.

Tabla 2. Potenciales fuentes de error en datos SIG (Fuente: Turner et al. 2001).

Fuente	**Explicación**
Fuentes obvias	
Edad de los datos	Algunos datos cambian más rápidamente que otros (por ejemplo sustrato geológico vs. uso de la tierra). Los datos antiguos pueden haberse colectados bajo diferentes estándares.
Cobertura aérea	Las coberturas pueden estar incompletas en la región de interés.
Escala del mapa	¿Se corresponde la escala del mapa con la resolución a la que los datos fueron originalmente colectados? ¿Es apropiada a la pregunta para la que se aborda la investigación?
Límites políticos	Las características de los datos pueden cambiar por límites políticos o administrativos.
Variación natural en las mediciones originales	
Exactitud posicional	Las líneas de límite pueden no estar precisamente localizadas debido al mapeo de terreno o a la conversión entre formatos de datos o a la resolución espacial.
Exactitud de contenido	¿Son correctos los atributos de celdas? En la interpretación de la percepción remota, hay errores medibles asociados con la clasificación de los valores de reflectancia.
Variación en las fuentes de datos	Diferentes intérpretes pueden generar diferentes mapas. Los protocolos pueden no estar estandarizados. Puede haber errores en el ingreso de datos. Puede haber variabilidad natural.
Errores de procesamiento	
Computación numérica	La precisión decimal y los errores de redondeo en cálculos complejos.
Análisis topológico	Cuando se combinan variables de mapa o coberturas, el uso de operadores lógicos multiplica los errores en las capas individuales. La conversión entre vector y raster puede también conducir a errores.
Clasificación	Errores en la derivación de asignaciones de categorías a partir de fotos aéreas o imágenes satelitales. Error típicamente estimado para el mapa completo o para cada categoría en el mapa.

Consideraciones para el análisis de patrones de paisaje

La amplia disponibilidad de datos espaciales en las últimas tres décadas presentó numerosas oportunidades para el análisis con varios propósitos diferentes de los patrones de paisaje. Antes de aventurarse en el análisis de patrones de paisajes, sin embargo, deberían determinarse varios aspectos importantes, pues resulta fácil caer en la trampa de generar una gran cantidad de números sin tener una idea clara de la finalidad y las

limitaciones de la gran variedad de índices disponibles. La relativamente amplia proliferación de software que automatiza la cuantificación del patrón espacial hace más difícil resistir la tentación. Pero sin una clara enunciación previa de los objetivos del análisis y / o los cambios hipotéticos en los patrones, la comparación entre múltiples índices puede ser engañosa.

Las categorías seleccionadas para usar en el análisis tienen una influencia extremadamente fuerte sobre los resultados numéricos de cualquier análisis de patrones. Considérese por ejemplo un patrón de vegetación mapeado a partir de imágenes satelitales pero clasificado de distinta manera. Está claro que estas dos representaciones del paisaje lucen muy diferentes y que las descripciones cuantitativas de estos dos conjuntos de datos serán muy disímiles (figura 10). Por lo tanto, la elección de las categorías a incluir en un análisis de patrones es crítica. Las clases deben seleccionarse para la pregunta particular o el objetivo y las reglas de clasificación deben aplicarse rigurosamente a través de todos los paisajes que están siendo comparados.

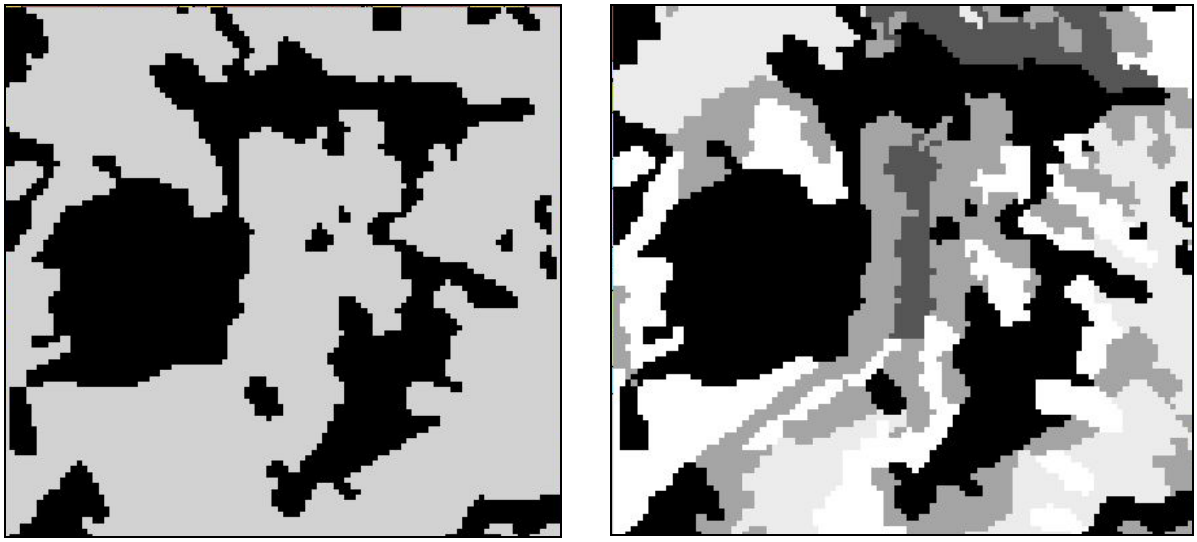


Figura 10. Ejemplo de las diferencias que puede presentar un mismo paisaje bajo distintos esquemas de clasificación. En un sector de la Colonia 16 de Octubre, en el noroeste de la provincia de Chubut, Patagonia, el paisaje de la izquierda, de 1 km de lado, corresponde a bosque (gris) y no bosque (negro). Por su parte, en el paisaje de la derecha se ha clasificado el bosque de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) según clases de densidad en denso (gris oscuro), semidenso (gris intermedio) y ralo (gris claro), los pastizales (negro) y las plantaciones de coníferas exóticas (blanco) (Fuente: Carabelli et al. 2004).

Otra consideración importante se refiere a la definición de la escala, pues como se ha indicado previamente, el grano y la extensión de los datos usados en cualquier análisis del patrón de paisaje influirán el resultado numérico que se obtiene para un determinado índice. A medida que se incrementa el grano (disminuye la resolución), los tipos de

coberturas que son raros en el paisaje se vuelven menos representados o pueden incluso desaparecer. Los límites entre diferentes tipos de coberturas también resultan subestimados cuando se incrementa el grano, pues las formas que se dibujan se vuelven menos complejas y se pierden los detalles (figura 11).

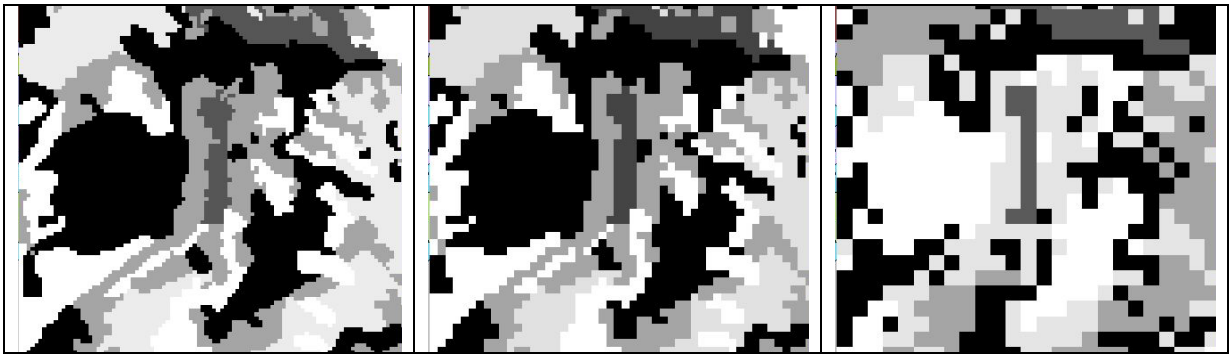
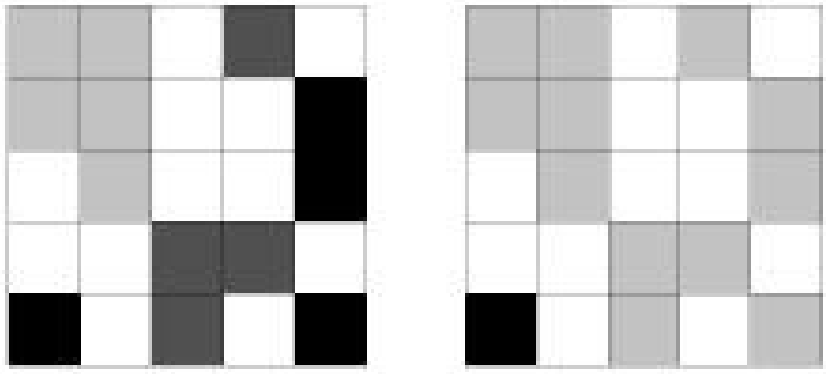


Figura 11. Ejemplo del cambio de grano sobre un mapa de paisaje. En el sector ya mencionado la imagen de la izquierda tiene un tamaño de grano (tamaño de la celda de la grilla) de 10x10 m, la del centro de 20x20m y la de la derecha de 40x40 m.

De la misma forma, la extensión espacial del área de estudio puede afectar los índices de paisaje independientemente del tamaño del grano. Cuanto más pequeña sea la extensión del mapa, más serio será el problema de truncamiento de los parches por el límite del mapa, lo que resultará en mediciones sesgadas del tamaño de parche, de la forma y de la complejidad del patrón. Sin embargo, no siempre resulta claro determinar cual debería ser la extensión mínima del mapa para prevenir serios errores de medición. Imagínese, por ejemplo, un paisaje cuadrado de 400x400 celdas que se crea por una ubicación aleatoria de un único tipo de cobertura entre las celdas de la grilla. Luego, imagínese que la meta del análisis es estimar el número de parches en este paisaje, muestreando con mapas de 50x50, 100x100 o 200x200 celdas. El efecto de truncamiento de los mapas más pequeños resulta en una sobrestimación consistente del número total de parches de hábitat. Sin embargo, esta desviación es pequeña (un máximo de 1,3% para un mapa de 50x50 celdas) para todos los mapas cuando *p*, la fracción del mapa ocupada por el único tipo de hábitat, es también pequeña. Pero si *p* es mayor que 0.6 (por ejemplo, el mapa de 400x400 celdas tiene 60% de las celdas azarosamente ocupadas por este único tipo de hábitat), el error de muestreo trepa a 23%, 9% y 3% para los mapas de 50x50, 100x100 y 200x200 celdas, respectivamente. Las lecciones de este ejemplo son las siguientes: 1) es difícil especificar para *todas* las situaciones cuál será el sesgo para mapas de diferente extensión, 2) no hay una única extensión de mapa que sea óptima para todos los análisis y 3) a menos que se puedan realizar experimentos para evaluar tamaños óptimos de muestra, se debería muestrear con mapas con la mayor extensión posible. Cuando un mapa contiene múltiples tipos de cobertura, el aumento de la extensión del mapa incrementará habitualmente la representación de tipos de cobertura más raros. O´Neill et al. (1991, fide Turner et al. 2001) propusieron una regla para seleccionar el grano y la extensión apropiadas para un

análisis, con el objeto de evitar errores en el cálculo de índices del paisaje: el tamaño del grano de un mapa debería ser de dos a cinco veces más pequeño que los rasgos espaciales que estuvieran siendo analizados y la extensión del mapa debería ser de dos a cinco veces mayor que los parches de mayor tamaño.

La identificación de los parches es otro aspecto crucial a considerar en el análisis de patrones de paisaje. En un paisaje de grilla, la definición de parche se transforma en un algoritmo de computación y de esta forma se tiene un grupo contiguo de celdas de la misma categoría de mapeo. En este contexto, la propiedad de contigüidad puede definirse mediante diferentes reglas. El método más común asume que las cuatro celdas vecinas más próximas tocan la celda de interés (figura 11). La regla de los cuatro vecinos significa que las celdas encadenadas de la misma categoría dispuestas a lo largo de líneas diagonales no se tocan y que serán analizadas como una cadena de parches individuales. Esta regla puede alterarse para considerar los próximos vecinos más cercanos como sitios de contacto (una vecindad de 8 celdas); de este modo, los sitios de vecinos diagonales son miembros del mismo parche (figura 12). Dado que distintas reglas producen diferentes patrones de mapeo, los programas de análisis se han escrito específicamente para permitir vecindades variables. Es entonces estrictamente recomendable tener presente que los parches no son elementos fijos del paisaje, sino útiles construcciones espaciales que varían con los objetivos de un estudio dado.



Regla de los cuatro vecinos (6 parches)

Regla de los ocho vecinos (2 parches)

Figura 12. Identificación de parches (celdas sombreadas) sobre el mismo mapa usando la regla de los cuatro vecinos con la que se consideran los vecinos horizontales y verticales pero no los diagonales y la regla de los ocho vecinos, en la que se consideran también estos últimos (diagonales) además de los horizontales y verticales (Fuente: tomado de Turner et al. 2001).

La selección de los índices para el análisis debe estar también guiada por los objetivos del estudio. En esta selección hay que considerar que muchos índices están fuertemente correlacionados entre sí, por lo que contienen información redundante. Riitters et al. (1995 fide Turner et al. 2001) examinaron las correlaciones entre 55 índices diferentes de

paisaje por análisis de factores para 85 mapas de coberturas de terreno e identificaron solamente 5 factores independientes. Este estudio demostró entonces que muchos índices de paisaje *no están* midiendo diferentes cualidades del patrón espacial. Estos autores interpretaron estos 5 factores como: a) el número de clases o tipos de cobertura sobre el mapa, b) si la textura del patrón de paisaje era fina o gruesa, c) el grado al cual los parches eran compactos o disectados, d) si los parches eran lineales o planares, e) si los perímetros de los parches eran complicados o simples respecto a su forma (Turner et al. 2001). Por su parte, Li y Reynolds (1994, fide Gustafson 1998) dividieron la heterogeneidad espacial en cinco componentes empleando consideraciones teóricas. Establecieron que el número de tipos y la proporción de cada tipo son componentes composicionales, mientras que el arreglo espacial de parches, la forma de parche y el contraste entre parches vecinos son los componentes espaciales de un patrón.

Podemos entonces sintetizar los aspectos principales de un proceso de cuantificación de un patrón de paisaje, señalando los principales aspectos que de ninguna manera pueden omitirse. En primer lugar deben enunciarse previamente los **objetivos del análisis** y / o los cambios hipotéticos en los patrones. En segunda instancia debe prestarse especial atención a la **selección de categorías** para usar en el análisis, pues las mismas tendrán una influencia muy marcada sobre los resultados numéricos de cualquier análisis de patrones. No menos importante resulta la **definición de la escala**, debido a que el grano y la extensión de los datos usados influirán el resultado numérico que se obtiene para un determinado índice. Para precisar el grano y la extensión espacial del estudio debería prestarse especial atención a la regla establecida por O´Neill et al. (1991, fide Turner et al. 2001). La **identificación de los parches** es otro aspecto crucial a considerar en el análisis de patrones de paisaje, teniendo en cuenta que los mismos no son elementos fijos del paisaje, sino construcciones espaciales sumamente útiles que varían con los objetivos de cada estudio. También atendiendo a los objetivos prefijados debe efectuarse la **selección de los índices** que cuantifican el patrón de paisaje, evitando considerar simultáneamente aquellos que entreguen información redundante por estar correlacionados.

Índices para cuantificar el patrón de paisaje

La cuantificación de la heterogeneidad espacial se centra a menudo en los mapas categóricos o temáticos, en los cuales las propiedades del sistema se representan cualitativamente y a las que se asigna rótulos arbitrarios (por ejemplo tipo de cobertura, nombre de series de suelo o calidad de hábitat), aunque algunas veces se trata de propiedades cuantitativas que exhiben discontinuidades espaciales discretas (por ejemplo edad de los rodales forestales). Un gran número de índices ha sido desarrollado para cuantificar la heterogeneidad espacial en los mapas categóricos. Estos índices se distribuyen habitualmente en dos categorías generales: aquellos que evalúan la

composición del mapa sin referencia a los atributos espaciales y los que evalúan la configuración espacial de las propiedades del sistema, para lo cual requieren información espacial.

Índices de composición del paisaje

Los índices que cuantifican la composición no son, usualmente, espacialmente explícitos. Estos índices miden lo que está presente y en qué cantidades relativas o proporciones, sin referencia a dónde pueden estar localizados en el paisaje. La composición se describe típicamente por el número de categorías o clases en el mapa, la proporción de cada clase relativa al mapa completo y la diversidad.

Proporción del paisaje ocupada por el iésimo tipo de cobertura

Es el índice más fundamental y se calcula como:

p*i* = Número total de celdas de la categoría *i* / Número total de celdas en el paisaje

Las proporciones de diferentes tipos de paisajes tienen una fuerte influencia sobre otros aspectos del patrón, tales como tamaño del parche o longitud del borde en el paisaje. Los valores de p*i* se usan en el cálculo de muchos otros índices.

Las medidas de diversidad combinan típicamente dos componentes de la misma: *riqueza*, que se refiere al número de clases o categorías presentes y *uniformidad*, que se refiere a la distribución de área entre clases. La dominancia es el complemento de la uniformidad (uniformidad = 1 – dominancia) e indica la extensión a la cual el paisaje está dominado por una o pocas clases. Seguidamente se hará una breve descripción de cada una de ellas.

Riqueza relativa

Este índice calcula el número de tipos de cobertura presentes, sin considerar como están espacialmente dispuestos, como un porcentaje del número total de tipos de cobertura posibles. Se expresa como:

$$R = (s/s_{max})\ 100$$

Donde s: número de tipos de cobertura presentes, s_{max}: número máximo posible de tipos de cobertura. Este último valor es arbitrario pero debería basarse en el máximo número de tipos de cobertura observado en paisajes similares. Este índice es especialmente útil para comparar paisajes antes y después de disturbios naturales y la regeneración de tipos de cobertura de vegetación en el tiempo.

Dominancia

Es la desviación de la máxima diversidad posible. Se calcula como:

$$D = [\ln (s) + \sum_{i=1}^{s} (p_i) \ln(p_i)\ ]/\ln(s)$$

Donde s: número de tipos de cobertura presentes, p*i*: proporción del iésimo tipo de cobertura y ln: función logaritmo natural que es igual a $H_{máx}$, es decir, la máxima diversidad posible para un paisaje que tenga *s* tipos de cobertura. Los valores para D oscilan entre 0 y 1; valores cercanos a 1 indican un paisaje dominado por uno o pocos tipos de cobertura, mientras que valores próximos a 0 indican que las proporciones de cada tipo de cobertura son cercanamente iguales.

Índice de uniformidad

Este índice se conoce también como diversidad y se refiere a cuan regular o equitativamente están distribuidas las proporciones de los tipos de cobertura. Se expresa como:

$$H = [- \sum_{i=1}^{s} (p_i) \ln(p_i)]/\ln(s)$$

Donde H: diversidad, p*i*: proporción del iésimo tipo de cobertura, ln: función logaritmo natural y s: número de tipos de cobertura presentes. Los valores para H oscilan también entre 0 y 1; valores cercanos a 1 indican que las proporciones de cada tipo de cobertura son cercanamente iguales mientras que valores próximos a 0 indican un paisaje dominado por uno o pocos tipos de cobertura.

Índices de configuración espacial

La configuración espacial de las propiedades del sistema es mucho más difícil de cuantificar y los intentos se han centrado en la descripción de las características espaciales de parches individuales (basada en parches) y las relaciones espaciales entre múltiples parches (basada en vecindades). Cuando el interés se concentra en la configuración de un único tipo de parches, estos análisis se realizan a menudo sobre mapas binarios simples, donde hay solamente dos clases: la clase de interés y todas las demás combinadas. Las mediciones del patrón basadas en parches incluyen tamaño, número y densidad de parches. Estas medidas pueden calcularse para todas las clases en forma conjunta o para una clase particular.

Número total de parches en el paisaje

Resulta de definir primeramente las áreas conectadas (es decir, parches o agrupamientos) de cada tipo de cobertura *i*. Los parches se identifican comúnmente usando una o dos reglas de vecindad. Un parche puede identificarse usando la regla de los cuatro vecinos en la cual dos celdas de una grilla son consideradas parte de un mismo parche *solamente* si ellas son del mismo tipo de cobertura y comparten un plano de adyacencia. Alternativamente, la regla de los ocho vecinos especifica que dos celdas de una grilla del mismo tipo de cobertura se consideran parte del mismo parche si son vecinos adyacentes o diagonales. Cuando se reporta el número de parches, es importante distinguir si el cálculo es para todos los parches de todos los tipos de cobertura o si es solamente para un cierto tipo de cobertura *i*.

Tamaño de parche medio (mean patch size -MPS-)

Se trata simplemente del tamaño promedio aritmético de cada parche en el paisaje o de cada parche de un tipo de cobertura dado. Se calcula a menudo separadamente para cada tipo de cobertura como sigue:

$$MPS = \left(\sum_{K=1}^{n} A_K\right)/m$$

Donde m: número de parches para el cual la media está siendo calculada y A_K: área del parche Késimo. Las unidades de área son definidas por el usuario y deberían especificarse siempre.

Información útil sobre el borde puede incluir perímetro de los parches individuales, perímetro total de todos los parches de una clase particular, la frecuencia de adyacencias de parches específicos y varios índices de borde que incorporan el contraste (grado de disimilaridad) entre el parche y sus vecinos. Los cálculos de borde proporcionan una medida útil de cuan disectado es un patrón espacial y pueden efectuarse en una variedad de maneras. Un borde es compartido por dos celdas de grilla de tipos de cobertura diferente cuando un lado (no una esquina) de una celda es adyacente a un lado de la otra celda (regla de los 4 vecinos). El número total de bordes en un paisaje puede calcularse contando los bordes entre diferentes tipos de cobertura para el paisaje completo. Cada borde en el paisaje se cuenta sólo una vez.

Conectividad

Un índice muy simple es el tamaño relativo del parche más grande del hábitat k, que se exprese como:

$$RS_i = LC_i / p_i \times m \times n$$

Donde LC_i : tamaño del parche más grande del tipo de cobertura *i*, p_i: proporción del paisaje en el tipo de cobertura *i* y *m* x *n*: tamaño del paisaje que contiene *m* filas y *n* columnas.

Tamaño medio de parche ponderado por el área

La distribución de frecuencias de tamaños de parches en muchos paisajes es frecuentemente asimétrica. Ello significa que unos pocos parches grandes serán encontrados rodeados de muchos parches más pequeños. Bajo estas condiciones, un simple promedio aritmético no refleja el tamaño esperado de parche que podría encontrarse mediante una sencilla ubicación al azar de puntos sobre el mapa. Un método más útil de promediar es ponderar tamaños de parche por el área (Staufer y Aharony 1992, fide Turner et al. 2001). Si hay n parches en el paisaje y s_k es el tamaño del késimo parche, el tamaño medio del parche ponderado por el área será:

$$S_a = \Sigma (s_k^2) / \Sigma (s_k)$$

La ponderación por el área de otros índices se emplea cuando las distribuciones asimétricas de frecuencias resultan en un efecto desproporcionado de los parches pequeños sobre el índice de interés.

Respecto de la forma, los parches pueden adoptar una infinita variedad, haciendo esta característica difícil de cuantificar. La mayoría de los índices de forma usan una relación perímetro-área.

Fragmentación de bosques

De acuerdo con Haila (1995), la fragmentación forestal alude a la partición de superficies originalmente continuas de bosques en parches de variado tamaño que quedan aislados unos de otros por tipos de ambientes modificados. En este contexto, la ordenación de bosques debería comenzar a verse cada vez más como una disciplina transversal y territorial, pues las presiones sobre los bosques son crecientemente amplias e intensas, en tanto se multiplican los intereses y los usos posibles sobre estos singulares bienes naturales. De hecho, el escenario en el que se plantea la gestión forestal sostenible es un escenario sometido a cambios, de una evidente complejidad, con información a menudo incompleta y en el que pueden producirse determinados conflictos de intereses (Nadal Amat 2002).

En tanto constituye un proceso de gestión del uso de los bosques que se apoya en una planificación rigurosa -al menos dentro de ciertos límites-, la ordenación forestal puede ser una "herramienta" plausible para intervenir en los ambientes a escala de paisaje y prevenir fenómenos de fragmentación forestal. No obstante, es preciso advertir que esta función que cabría otorgarle a la ordenación está por lo menos a mitad de camino entre la de continuar siendo un paradigma y convertirse en realidad, al menos en lo que a la situación de los bosques en el territorio nacional respecta. Las regiones boscosas de nuestro país, en general, carecen de marcos de ordenación tanto a nivel regional como para situaciones específicas, que posibiliten prever el rumbo y las consecuencias de las prácticas actuales. Otras actividades como la de producción de soja, por ejemplo, están amenazando cada vez más gravemente la permanencia de amplias áreas de bosque, principalmente en las provincias del centro y norte del país, lo que constituye una alarmante demostración del desinterés, a nivel tanto político como económico, por promover la conservación y la utilización de los bosques nativos. Esta aseveración se ve respaldada por los resultados del reciente Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos, que concluye que además de la superficie de bosque en pie, que ocupa unos 34 millones de hectáreas –apenas el 30% de la superficie de bosque que presumiblemente existía a principios del siglo pasado-, quedan unas 60 millones de hectáreas de tierras forestales, en su gran mayoría formaciones arbustivas de uso mixto y muy fragmentadas.

De acuerdo con Wilcowe et al. (1986 *fide* Baker 2000), la fragmentación tiene varios efectos, pero aquellos adversos acontecen en parte porque la extracción maderera, el desmonte para agricultura, los caminos y otros usos de la tierra tienen ramificaciones bastante más allá del área afectada por estas actividades. En términos generales, la fragmentación forestal tiene un efecto más amplio que el que se podría haber anticipado. A este respecto es preciso tener en cuenta que la medición y el análisis de la fragmentación no son fines en sí mismos, no obstante, es necesario conocer la condición de los paisajes para saber cómo modificar las prácticas de manejo para minimizar efectos adversos.

Ciertos factores, entre ellos la creación de extensas áreas protegidas, la rigurosidad del clima, la complicada topografía, la escasa presencia humana y la condición sanitaria de los bosques ha permitido que la región andino patagónica sea uno de los territorios –todavía- menos agredidos, en comparación con otras regiones del país. No obstante ello, y como lo pone de manifiesto el análisis posterior, las especies arbóreas nativas más relevantes han sido en mayor o menor medida afectadas por la actividad humana, habiéndose originado en parte o en algunos casos en casi la totalidad de la superficie que naturalmente ocupan procesos de fragmentación de intensidad variable.

Las especies a que se hace referencia son la lenga, el ciprés de la cordillera y el ñire (cuadro 3). Los motivos por los que se consideran centralmente estas especies refieren a su importancia en términos de las amplias porciones de territorio que ocupan en las provincias patagónicas de Argentina (especialmente lenga y ñire), su relevancia ecológica (todas ellas) y la utilización intensiva por parte del hombre durante prolongados períodos de tiempo.

Cuadro 3. Detalle de los principales usos y amenazas en relación con las especies forestales emblemáticas de los bosques andino-patagónicos de Argentina (Fuente: Carabelli 2005).

Especie	Distribución geográfica, superficie y características ecológicas más relevantes	Usos principales	Amenazas	Fuentes de consulta
Lenga	Se extiende entre 38º 55' y 55º L.S. Abarca una superficie de 1.200.000 ha. Ocupa las cabeceras de cuencas hidrográficas. Es una especie con temperamento semiheliófilo, que regenera abundantemente	Históricamente se ha utilizado para obtener madera. Es la especie nativa con mayor potencial maderero. Su uso para la construcción es muy importante en las provincias de Chubut, Tierra del Fuego y Río Negro.	• El aprovechamiento forestal no está planificado. Anualmente se intervienen aprox. 2.000 ha de bosques vírgenes sin una planificación que otorgue un marco de sustentabilidad. • Los incendios, en su mayoría producidos por acción antrópica, afectan frecuentemente el bosque de lenga, muchas veces de manera irreversible. • El pastoreo del ganado es una práctica tradicional que provoca graves daños tanto en la cantidad, como en la calidad y distribución de la regeneración de lenga. • Reiteradamente se originan conflictos entre distintos usuarios. Las disputas son más frecuentes entre ganaderos y madereros. Esta situación resulta casi siempre en la degradación del ecosistema.	Bava (1999), López Bernal et al. (2003), Carabelli y Ferrando (2004)
Ñire	Se extiende entre 36º 30' y 56º L.S. Abarca una superficie de 600.000 ha. Se distribuye en todo el gradiente altitudinal desde 2000 m.s.n.m. hasta el nivel del mar. Se reproduce tanto por semilla como vegetativamente. Posee poca capacidad competitiva por la alta demanda de luz, el escaso poder regenerativo por semillas y su lento crecimiento.	Se corta para obtener leña y superficies de pastoreo.	• Los incendios intencionales destruyen anualmente grandes superficies. • El uso inapropiado de las pasturas en las comunidades de contacto bosque-estepa promueve la degradación y pérdida de los matorrales de ñire. • El ramoneo del ganado y de las liebres afecta los rebrotes que surgen de los tocones, impidiendo la renovación de estos bosques. • Hay una presión para plantar especies exóticas en muchas de las áreas donde prospera la especie en las provincias de Río Negro y Chubut.	Heppner (1994), Bran et al. (1999), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2001), Austin y Sala (2002)
Ciprés	Se extiende entre 40º 02' S y 43º 37' L.S. Cubre una superficie de 135.000 ha. Ocupa generalmente los pedemontes cordilleranos entre 300 y 1000 m.s.n.m., en una franja de 60-80 km de ancho. Es una especie tolerante, con buena capacidad de regeneración. Una enfermedad de declinación forestal conocida como "mal del ciprés" afecta áreas significativas.	Tradicionalmente se han utilizado para obtener madera. Su uso es todavía significativo en las provincias de Río Negro y Chubut.	• Los incendios intencionales y en mucha menor medida naturales han sido históricamente el factor más gravitante de alteración de la distribución de estos bosques. • El uso pastoril no planificado en el bosque impide la renovación natural favoreciendo una transición de bosque cerrado a parque y finalmente hacia superficies abiertas de pastoreo. • El reemplazo por forestaciones de coníferas exóticas redujo y fragmentó en varios lugares la superficie original. • El desarrollo agrícola ha afectado también la superficie original de bosques de ciprés • La subdivisión de tierras con bosques de ciprés por presión inmobiliaria es un proceso con fuerte crecimiento.	Rothkugel (1916), Seibert (1982), Bruno (1982), Veblen y Lorenz (1987), Dezzotti y Sancholuz (1991), Bondel y de Almeida (1996), Loguercio et al. (1999), Servicio Forestal Andino (2000), Dirección General de Bosques y Parques (1999), Bran et al. (2002), Carabelli et al. (2003), Greslebin y La Manna (2004), Carabelli (2004)

Principales causas que inducen la fragmentación

Algunas de las causas o factores que han tenido y/o continúan teniendo incidencia sobre la fragmentación de bosques subantárticos en el transcurso de la última centuria y principios de este nuevo siglo son las siguientes:

- *Desmonte de bosques*: para habilitación de tierras para otros usos, principalmente la ganadería. Esta actividad ha sido recurrente durante fines del siglo diecinueve y hasta por lo menos mediados del siglo veinte. Superficies importantes de bosques nativos fueron taladas o incendiadas para generar áreas de pastoreo. La alteración del ambiente original es en algunos casos irreversible. En las situaciones de mediano impacto existe de todos modos una modificación notable del ambiente pues se introducen nuevas especies, en muchos casos exóticas, con lo que el equilibrio original se desplaza a otro producto de la nueva situación.

- *Incendios de comunidades forestales y no forestales*: principalmente en verano con distintas finalidades. El origen de los incendios en la región andino-patagónica reconoce distintos orígenes, entre ellos el ya mencionado de captura de tierras para otros usos, por conflictos entre pobladores, para reducir el precio de la tierra con fines inmobiliarios, para obtener madera cuya corta sólo está permitida si la/s especie/s de interés está/n afectada/s por alguna enfermedad o por el fuego, para cosechar otros productos no forestales tales como hongos que aparecen luego de los incendios, entre otras. Uno de los mayores impactos derivados de estos incendios, casi siempre intencionales, es su extensión, pues en muchos casos las condiciones climáticas propicias y la difícil topografía complican o imposibilitan el trabajo de las cuadrillas de combate, favoreciendo la propagación sobre grandes superficies. Es, en todo caso, una práctica que data de mucho tiempo, pues ya los pobladores originales de estas tierras acostumbraban incendiar áreas de matorrales y de bosque para facilitar sus actividades de cacería, como han señalado, entre otros, Muster (1971 *fide* Carabelli 2005) y Fonck (1900 *fide* Carabelli 2005) en sus crónicas.

- *Construcción de rutas*: provinciales y nacionales de pavimento y pedregullo (ripio). La construcción más orgánica de carreteras es relativamente reciente, pues a principios y hasta mediados del siglo veinte la presencia del estado nacional en la región sur del país fue bastante débil. De todas maneras, esta actividad es aun en el presente altamente perturbadora, pues se generan dramáticas alteraciones de los ambientes naturales durante los trazados, que incluyen grandes desplazamientos de tierra, voladuras, taludes sin vegetación y con altos niveles de erosión, desvío de cauces de ríos, remoción de la vegetación original, entre las más significativas.

- *Explotación maderera*: de bosques nativos a pequeña y mediana escala. Las extracciones de madera a pequeña escala son tradicionales en el ambiente de los

bosques andino patagónicos desde hace más de un siglo. Estas prácticas, casi siempre con un criterio "minero" de extracción de los ejemplares más valiosos en un sector y traslado a nuevas áreas no explotadas, producen impactos de magnitud variable pero nunca demasiado drásticos, principalmente porque sólo se extraen unos pocos árboles de valor y el resto queda en pie. Los daños al ecosistema provienen de la contaminación sonora durante las operaciones de apeo, arrastre y extracción, la construcción de caminos habitualmente no planificados que además de fragmentar fuertemente el hábitat generan muchas veces serios problemas de erosión cuando se hacen en la dirección de la pendiente. A nivel de rodales o de estructuras forestales más pequeñas, los daños se relacionan generalmente con los apeos no dirigidos, que afectan tanto a los árboles que quedan en pie como a la regeneración y a otra vegetación que constituye los estratos intermedios e inferiores. La gran cantidad de material residual que queda en el bosque representa un serio obstáculo tanto para la flora como para la fauna del lugar, al tiempo que aumenta seriamente el riesgo de incendios. La estabilidad de la masa resulta también afectada, haciéndose más susceptible a derribos masivos por vientos o por fuertes nevadas. Las explotaciones a mediana escala no son tan frecuentes pero magnifican estos efectos al verse involucradas superficies mayores.

- *Presión inmobiliaria*: subdivisión de predios para uso residencial o productivo a pequeña escala. En la última década ha habido un incremento sorprendente de la venta de propiedades con distintos fines, básicamente para realizar actividades productivas de tipo intensivo, como producción hortícola o de fruta fina o para desarrollar complejos habitacionales en ambientes escénicos singularmente atractivos. Esta creciente actividad es actualmente uno de las principales agentes causantes de fragmentación, sobre todo en el caso del ciprés de la cordillera, pues estos bosques se hallan habitualmente en las proximidades de los centros poblados y sufren directamente el impacto de la construcción de nuevos caminos, tendido de alambrados, edificaciones y extracción maderera para habilitar una porción de las tierras para producciones intensivas.

- *Incremento de la actividad turística*: Patagonia es desde hace ya por lo menos dos décadas una marca registrada. La ya mítica belleza de sus paisajes, sumada a una densidad demográfica muy baja y a la existencia de áreas naturales con muy bajo impacto humano, ejercen una atracción irresistible para paseantes de todo el mundo. La industria local del turismo se ha hecho ampliamente eco de esta circunstancia y está ampliando la oferta de actividades, aumentando no sólo el tráfico de vehículos y personas en ambientes que en muchos casos han sido ya sobrepasados en su capacidad de carga –y sin que existan todavía estudios que reflejen adecuadamente la magnitud de estos impactos- sino habilitando nuevos lugares, sin que se disponga previamente de investigaciones que den cuenta de la fragilidad del hábitat y de la capacidad de carga

admisible, esto último suponiendo que esos nuevos lugares fuesen pasibles de ser perturbados. La situación es aún más preocupante cuando se considera que la afluencia de turistas se incrementa fuertemente cada año. Los principales impactos tienen que ver con la habilitación de nuevos caminos, nuevos sitios de acampe, nuevos senderos hacia el interior de los bosques y el aumento del riesgo de incendios en la época de verano -cuando se produce la mayor concentración de turistas- principalmente por negligencia.

- *Embalses*: estas obras son muy frecuentes desde hace aproximadamente 50 años en la región. Las modificaciones ambientales que provocan las grandes represas y muchas en Patagonia lo son, han sido largamente descriptas. A estas modificaciones hay que agregar otras de carácter social, pues la fase de construcción de estas obras demanda una gran cantidad de mano de obra, circunstancia que muchas veces genera intensos procesos migratorios. Las comunidades cercanas a la obra suelen crecer exponencialmente, la mayoría de las veces en forma no planificada. Cuando la obra finaliza, gran parte de la población forastera permanece en el lugar y esta expansión urbana viene inevitablemente seguida, -sobre todo en ambientes como el andino patagónico, donde las comunidades son casi "cuerpos extraños" en un organismo esencialmente natural- de una alteración gradual pero sostenida del ambiente natural circundante.

- *Redes de alta tensión*: una consecuencia de la existencia de los embalses y, en muchos casos la razón de ellos. A una profunda alteración escénica debe sumarse la que produce la energía que se disipa cuando es trasladada, la que genera un campo de radiaciones altamente peligrosas en la vecindad inmediata.

- *Explotación minera*: la minería no es nueva en Patagonia. Los emprendimientos mineros, sobre todo cuando son a cielo abierto, son altamente contaminantes y pueden tener una acción residual sumamente prolongada, de décadas e incluso siglos. La minería produce intensas modificaciones en el patrón de paisaje y puede ser una actividad capaz de interrumpir procesos ecológicos. Actualmente existen innumerables permisos de cateo concedidos por las autoridades, pues se ha manifestado que toda la región cordillerana, desde el norte del país hasta el sur es rica en yacimientos de oro y plata. Las leyes nacionales son excepcionalmente contemplativas hacia esta actividad, por lo que cabe suponer que la misma puede tener un fuerte impulso en los próximos años, con todos los perjuicios que ello traería aparejado para estos singulares ecosistemas.

Buskirk et al. (2000 *fide* Carabelli 2005) destacan que la *novedad* y la *disimilitud* son dos dimensiones importantes de la fragmentación forestal que pueden identificarse. La primera de ellas se refiere a cuan frecuentemente una alteración ha sido experimentada a

lo largo de la historia evolutiva de una comunidad forestal. La segunda, disimilitud (o desemejanza) se refiere a cuan diferente es la alteración, en términos de estructura y función, de la matriz o el área en torno a ella. Estos autores identificaron las actividades que indujeron procesos de fragmentación forestal en los bosques de las Montañas Rocosas en Estados Unidos y las ubicó en un sistema de ejes coordenados representado disimilitud (eje x) y novedad (eje y), tarea que fue realizada para las alteraciones previamente descriptas (figura 13).

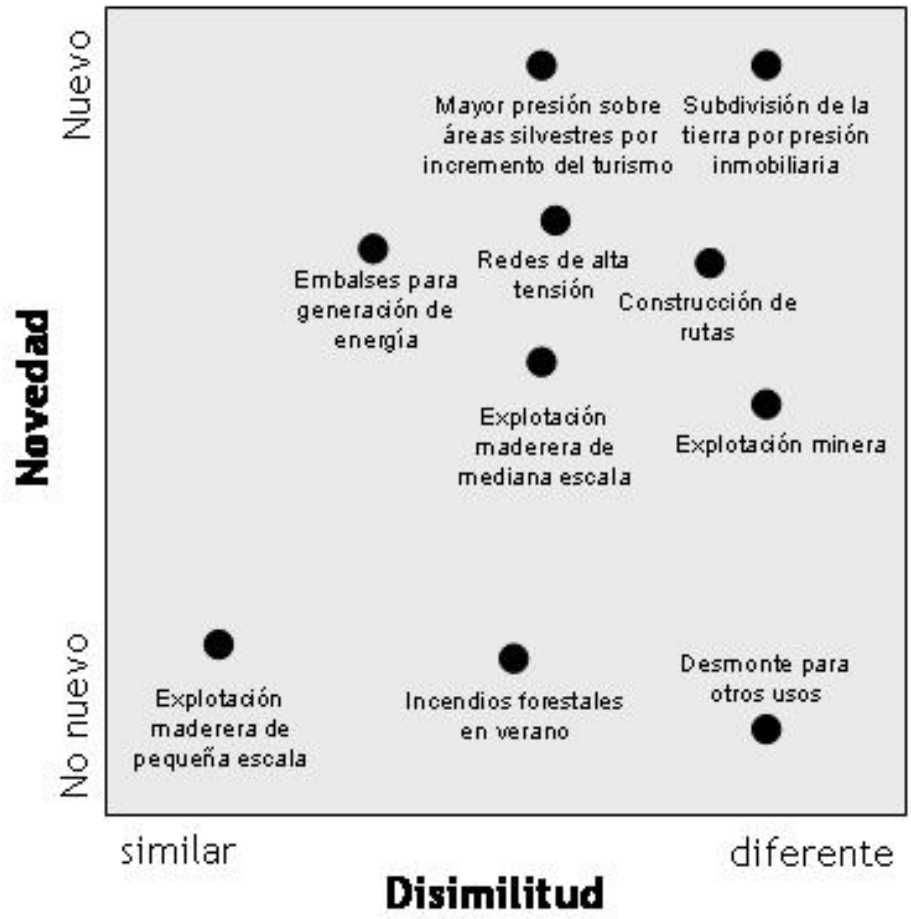


Figura 13. Caracterización de alteraciones causadas por el hombre en dos ejes, novedad y disimilitud. Novedad se refiere a cuan frecuentemente una alteración ha sido experimentada a través de la historia de los bosques nativos en Patagonia en los últimos 100 años. Disimilitud se refiere a cuan diferente es un sitio alterado de la estructura y función del área circundante (Fuente: Carabelli 2005).

Claramente, en tanto se trata de un ejercicio conceptual, las "ubicaciones" de tales alteraciones pueden, y seguramente deben, ser objeto de una amplia discusión, no tanto para reposicionarlas, aún cuando ello sobrevenga como una muy probable consecuencia de dicha discusión, sino para materializar un ámbito de debate y de proposición tanto de estudios que profundicen el análisis de estos procesos como de medidas para mitigar

impactos y desarrollar formas de uso más responsables frente a la fragilidad intrínseca de estos sistemas (Carabelli 2005).

Impacto de las prácticas forestales en los patrones de paisaje

Las actividades forestales tales como la extracción y la construcción de caminos perforan en algún grado los paisajes y, en casos extremos, causan fragmentación (Smith 2000). Las actividades silviculturales perforan el paisaje durante un tiempo entre la creación de un claro y la revegetación y el crecimiento de la cubierta forestal. La proporción de perforación y de fragmentación del hábitat causado por un determinado nivel de silvicultura puede ser manejado. El diseño de patrones de corta tiene un profundo efecto en la estructura del paisaje en el corto plazo y tales patrones de corta establecen un legado que influye sobre las opciones de manejo futuras.

La proporción de paisaje en parches de diferente tamaño, por caso, debería examinarse respecto al régimen de disturbios naturales. En realidad, el interior de los claros creados por fuegos, insectos o viento no es homogéneo y esto debería considerarse cuando se intenta modificar la extracción para aproximarla más estrechamente a los disturbios naturales.

Una mezcla de tamaños de claros en un paisaje a través del espacio y del tiempo produciría un paisaje heterogéneo con una variedad de tamaños de parches, estructuras de rodales y estadíos sucesionales del bosque. La ubicación de claros más grandes y parches en un paisaje debido a las cortas reduciría la perforación y fragmentación del hábitat para un nivel dado de extracción. Sin embargo, se ha probado que esto es difícil de implementar. Los intentos por practicar una Silvicultura a escala de grandes disturbios necesitarán tener la aceptación de los usuarios, pues los grandes claros pueden ser socialmente impopulares e impactar la calidad visual de un paisaje.

Nuevamente, un punto a considerar para reducir la fragmentación del hábitat causada por operaciones silviculturales es el registro comparativo de las condiciones forestales históricas. Las condiciones en los claros deberían ser comparadas con las condiciones que suceden a un disturbio por fuego, insectos o viento, por ejemplo. La estructura de los rodales establecidos debería compararse con la estructura de los rodales que han ocurrido sin manejo en el paisaje histórico.

Referencias bibliográficas

Baker, W. L. 2000. Measuring and Analyzing Forest Fragmentation in the Rocky Mountains and Western United States. En: Knight R. L., F. W. Smith, S. W. Buskirk, W. H. Romme y W. L. Baker (Ed.). Forest Fragmentation in the Southern Rocky Mountains. University Press of Colorado. Pp. 55-94.

Bennett, A. 1998. Linkages in the landscape. The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.

Carabelli F. 2005. Los bosques subantárticos y la fragmentación. Ponencia aceptada en el III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Corrientes, Argentina. 10 p.

Carabelli F., H. Claverie, M. Jaramillo, I. Orellana, M. Gómez, R. Scoz. 2004. Anthropic changes of forest landscapes in the Patagonian Andes of Argentina. Workshop on Fragmentation of Native Forests in Argentina. En: Mitteilungen der Abteilung für Forstliche Biometrie 3: 18-23. *En prensa*.

Forman R. T. T., M. Godron. 1986. Landscape Ecology. Wiley, New York.

Franklin, S. E., M. B. Lavigne, M. A. Wulder, G. B. Stenhouse. 2002. Change detection and landscape structure mapping using remote sensing. *The Forestry Chronicle*, Vol. 78 (5):618-625.

González Doncel I. 2001. El paisaje y el recreo en la ordenación de montes arbolados. En: Madrigal Collazo A. Ordenación de montes arbolados. Ministerio de Medio Ambiente, p. 315-331.

Gustafson, E. J. 1998. Quantifying Landscape Spatial Pattern: What Is the State of the Art?. *Ecosystems* 1:143-156.

Haila Y. 1995. Forest Fragmentation: Effects on Vegetation Dynamics. En IUFRO XX World Congress "Caring for the Forest: Research in a Changing World" Congress Report, Vol. II, p. 189-202.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (Brasil). 2002. Tutorial del programa SPRING Documento digital http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/material.html

McGarigal K. 2001. Fragstats Background: Landscape Pattern Metrics. Documento digital http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/downloads/fragstats_downloads.html

McGarigal K., B.J. Marks. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Report PNW-GTR-351, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR.

Nadal Amat A. 2002. Gestión forestal y desarrollo sostenible. Primer Congreso Profesional de los Ingenieros de Montes, España. 7 p.

Sandner E. 1991. Raumgliederung und Naturraumeinheiten. Manuscrito inédito.

Smith, F. W. 2000. Forestry Practices and Forest Fragmentation in the Southern Rocky Mountains. En: Knight R. L., F. W. Smith, S. W. Buskirk, W. H. Romme y W. L. Baker (Ed.). Forest Fragmentation in the Southern Rocky Mountains. University Press of Colorado. Pp. 123-134.

Turner, M. G., R. H. Gardner, R. V. O´Neill. 2001. Landscape Ecology in Theory and Practice. Pattern and Process. Springer.

Wiegand T., F. Jeltsch, I. Hanski, V. Grimm. 2003. Using pattern-oriented modeling for revealing hidden information: a key for reconciling ecological theory and application. *Oikos* 100: 209-222.

Wiens, J. A., N. Chr. Stenseth, B. Van Horne, R. A. Ims. 1993. Ecological mechanisms and landscape ecology. *Oikos* 66:369-380.