

Gestión selvícola y regeneración natural ante un futuro incierto: marco teórico y principios generales

Coll, L.

Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC) Carretera de St Llorenç, km 2 – 25280 - Solsona (Lleida)
e-mail: lluis.coll@ctfc.cat

Resumen

Desde hace algunas décadas los bosques ibéricos están sujetos a un importante proceso de cambio, motivado por un conjunto de razones de índole ambiental y socio-económico. Ante este contexto de creciente incertidumbre se plantea la necesidad de ejercer una selvicultura que refuerce el objetivo de promover masas resistentes, resilientes y con capacidad de adaptación al cambio. El artículo muestra cómo los bosques exhiben la mayor parte de características de los sistemas adaptativos complejos. En base a ello, sugiere potenciar desde la gestión forestal la heterogeneidad del ecosistema forestal a distintas escalas organizativas para favorecer la emergencia de respuestas adaptativas efectivas ante potenciales escenarios de cambio. Asimismo repasa el concepto de resiliencia y propone algunos principios básicos, cuya consideración en los tratamientos de regeneración natural, podría contribuir a promover la resiliencia y adaptabilidad del futuro bosque.

Palabras clave: sistemas adaptativos complejos, regeneración, resiliencia, heterogeneidad, incertidumbre

1. Introducción

Los bosques han sido desde siempre y continúan siendo fuente de múltiples bienes (madera, frutos, setas etc.) y servicios (protección del suelo, regulación hidrológica, secuestro de carbono etc.) que son cruciales para el bienestar de las personas y el desarrollo de las sociedades. En el ámbito mediterráneo, su composición, estructura y ensamblaje en el paisaje actual presentan una marcada huella antrópica. De hecho, según Blondel y Aronson (1995) no existe ninguna otra región del mundo en

la que la evolución de los ecosistemas haya estado tan íntimamente relacionada con la acción humana durante tanto tiempo. En las últimas décadas, los bosques y el paisaje forestal en muchas regiones del mundo se encuentran inmersos en un gran proceso de cambio (también de origen antrópico) que es consecuencia de la acción individual o conjunta de distintos factores de índole ambiental (incremento de la temperatura, fertilización atmosférica...) y socioeconómico (éxodo rural, cambio de modelo energético, globalización de los mercados...). Si bien en la historia de nuestros montes el cambio no ha sido la excepción sino más bien la norma (ver por ejemplo Manuel y Gil, 2007), nunca éstos se habían dado a la velocidad actual ni el hombre había sido tan consciente de ellos (Bravo *et al.*, 2008). Sus consecuencias en cuanto a la dinámica y funcionamiento de los bosques son variables y dependen básicamente de las propias características del factor de cambio (intensidad, recurrencia, extensión...) y de un sinfín de condicionantes que operan a distintas escalas del sistema forestal (uso anterior, composición y estructura de la masa, estación, etc.). En cualquier caso, no hay duda que se incrementa notablemente la incertidumbre alrededor del ambiente climático, biológico y social en el que se desarrollarán los bosques del futuro (Millas *et al.*, 2007).

2. La selvicultura y la incertidumbre

La selvicultura se formaliza en sus inicios a través del principio de persistencia de las masas y muestra un carácter multidisciplinar combinando conocimientos e ideas propias de la ciencia forestal con principios y formulaciones económicas. Más adelante incorpora bases ecológicas, destacando la aportación de Gayer (1822-1907), y se enriquece con nuevas técnicas y tratamientos. Asimismo, deja de orientarse exclusivamente en la regeneración de masas arboladas con destino preferente, si no único, de producción de madera e integra también, en sus objetivos, el mantenimiento y provisión continua de otros bienes y servicios. Otros aspectos de la selvicultura clásica, como la voluntad de dirigir y controlar la composición, estructura y dinámica de las masas forestales han evolucionado en menor medida y presiden el ejercicio diario de muchos selvicultores. El resultado de ello ha sido hasta la fecha exitoso, en parte porque los condicionantes ambientales y socioeconómicos se han mantenido relativamente estables y por tanto predecibles (Puettmann, 2011). No obstante, el presente contexto de cambio actual, caracterizado por un futuro ambiental, social y económico altamente variable e incierto no parece el más apropiado para el ejercicio de una silvicultura con excesiva vocación de control. Por poner un ejemplo, en la actualidad el gestor debe ejercer su profesión sin saber a ciencia cierta si las condiciones ambientales futuras permitirán la persistencia de muchas especies en las mismas estaciones en las que se han desarrollado durante generaciones. Asimismo, desconoce el papel que desempeñarán las perturbaciones bióticas o abióticas (cuyo régimen se ve alterado por el presente contexto de cambio climático y de uso) en la futura dinámica de los bosques, y cómo el venidero o próximo contexto socioeconómico condicionará la futura demanda de bienes y servicios de nues-

tros montes. Por todo ello, el nuevo contexto de creciente incertidumbre sugiere el ejercicio de una selvicultura que, sin renunciar a sus principios clásicos, refuerce el objetivo de promover masas resistentes, resilientes y que presenten la mayor capacidad posible de adaptación frente al cambio con el fin de asegurar, con ello, su futura persistencia en el medio (Stephens *et al.*, 2010). Reconocer la complejidad de los bosques y percibirlos como sistemas complejos adaptativos constituye un primer paso para ello.

3. Los bosques como sistemas adaptivos complejos

Ya decía el reconocido ecólogo Ramón Margalef (1919-2004), citado en Vayreda (2012), que “el bosque es el ecosistema terrestre de estructura más compleja”. Recientemente, interesantes trabajos de Levin (1998) y Puettmann *et al.*, (2009) acercan al mundo forestal algunos conceptos derivados de la teoría de la complejidad (Waldrop, 1992), y muestran cómo los bosques exhiben la mayor parte de características de los sistemas adaptativos complejos. Dichos sistemas se caracterizan por estar compuestos de múltiples elementos individuales que interactúan de forma dinámica entre sí (en muchos casos siguiendo relaciones no lineales) y a lo largo de distintos niveles de organización, emergiendo como resultado de todo ello (y de procesos de

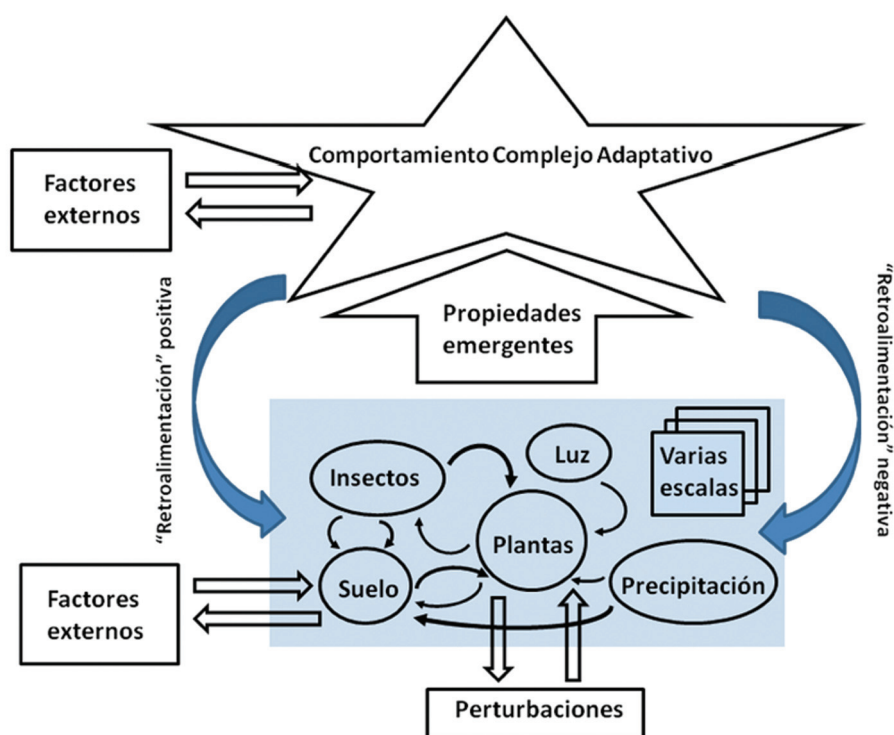


Figura 1. Diagrama simplificado que muestra los bosques bajo el prisma de los sistemas complejos adaptativos (adaptado de Puettmann, 2011). Las interacciones entre los niveles de base del ecosistema (relaciones no lineales y procesos de retroalimentación) dan lugar a propiedades emergentes que actúan a niveles organizativos superiores y que caracterizan su dinámica y comportamiento (p.ej. frente al cambio global).

retroalimentación positiva y negativa) patrones y comportamientos que les confieren una gran capacidad de auto-organizarse y en consecuencia de adaptarse al cambio (*Figura 1*). Es importante remarcar, que la capacidad de auto-organizarse emerge en estos sistemas como resultado de múltiples interacciones entre los elementos que constituyen su base y que, por tanto, siguen un patrón de abajo hacia arriba (*bottom-up*). Dado que incrementar la capacidad adaptativa de los bosques aparece como uno de los nuevos retos de la silvicultura (entendiendo como adaptabilidad la capacidad que tienen los organismos que integran un ecosistema de percibir el cambio y reaccionar ante él moderando su impacto o aprovechando potenciales oportunidades), observar y percibir los bosques bajo el prisma de los sistemas adaptativos complejos ofrece un evidente interés.

En general, gestionar para mantener la complejidad de los bosques pasa por promover la heterogeneidad del ecosistema forestal a distintas escalas organizativas (genotipos, especies, rodales, monte etc.), a fin de mantener alto y variable los elementos constituyentes del sistema y (sus múltiples interacciones) y así permitir la emergencia de respuestas adaptativas efectivas ante potenciales escenarios de cambio (Messier *et al.*, 2013). Asimismo, como la dinámica y evolución de estos sistemas se rigen por una trayectoria de “abajo hacia abajo”, gestionar los bosques para la adaptabilidad sólo puede hacerse si se renuncia a la voluntad de controlar y dirigir estrictamente su estructura, composición y dinámica, y en su lugar se apuesta por una sil-

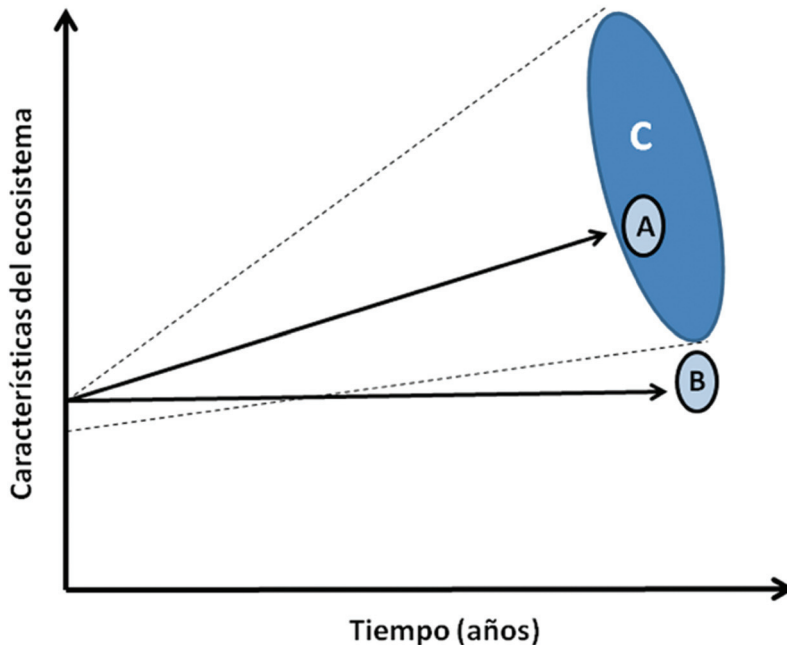


Figura 2. Trayectoria que siguen distintas características del ecosistema (estructura, biomasa, diversidad) bajo distintos escenarios de gestión (adaptado de Puettmann *et al.*, 2009). La trayectoria hacia el punto “A” representa una bosque gestionado como masa irregular pie a pie; la trayectoria hacia el punto “B” representa una plantación monoespecífica de especies de crecimiento rápido y el ancho de la elipse sombreada (“C”) las múltiples trayectorias que puede seguir un bosque gestionado (o que se ha dejado evolucionar) como un sistema complejo adaptativo.

vicicultura abierta que permita al propio bosque encontrar la trayectoria más adecuada para adaptarse al cambio (*Figura 2*).

La adaptabilidad puede considerarse como una característica más de los sistemas resilientes. De hecho, por su importancia en el contexto de cambio global actual, el término resiliencia aparece a menudo en la terminología forestal, aunque en ocasiones se han utilizado para hacer referencia a conceptos bien variables (Grimm, Wisserl 1997). Por ello, se considera necesario clarificar el significado del término y su uso en el campo de la gestión forestal.

4. Resiliencia frente al cambio

Promover la estabilidad de las masas forestales y con ello su persistencia es uno de los principios de la silvicultura. La promoción de la estabilidad individual y colectiva del bosque (a través del control del coeficiente de esbeltez o de la estructura de la masa forestal) en zonas con riesgo de vendavales o la reducción de la continuidad vertical y horizontal del combustible en masas localizadas en zonas con alto riesgo de incendio son ejemplos de actuaciones que persiguen este fin. Este tipo de actuaciones inciden en la resistencia del bosque. Las actuaciones silvícolas orientadas a promover la resistencia de los bosques presentan una sólida base técnica y científica (Finney, 2001; Martín-Alcón *et al.*, 2010) y han sido aplicadas con éxito por generaciones de silvicultores. No obstante, si bien con ellas se reduce significativamente el daño producido por perturbaciones de baja o mediana intensidad, su ejecución no resulta suficiente para hacer frente a los efectos de grandes perturbaciones, como los incendios forestales de alta intensidad o la ocurrencia de vendavales extraordinarios. Además, su práctica puede comportar, como en el caso de los tratamientos orientados a la reducción de la continuidad vertical del combustible en zonas de riesgo alto de incendio, un elevado coste. Recientemente se ha apuntado, desde distintos ámbitos, a la necesidad de acompañar los tratamientos encaminados a incrementar la resistencia del bosque con estrategias de gestión que persigan incidir sobre la resiliencia del sistema (Thompson *et al.*, 2009). El término resiliencia tiene su origen en el campo de la ecología (Holling, 1973) pero se extendió rápidamente en otras disciplinas o ciencias como la psicología, la ingeniería de materiales o el derecho. La utilización del término se ha empleado con asiduidad para definir “la velocidad en la que un sistema retorna a su estado inicial tras una perturbación” (Thompson *et al.*, 2009), definición que responde al concepto de resiliencia ingenieril. No obstante, en ecología forestal reviste más interés el concepto de resiliencia ecológica, que hace referencia a la “magnitud (o nivel) de perturbación que un sistema es capaz de absorber sin cambiar de estado” (Gunderson, 2000). Un ejemplo de cambio de estado lo encontraríamos cuando un sistema arbolado se transforma en un matorral o un pastizal debido a la acción de fuegos recurrentes. Puede darse el caso en que cambiar de estado no implique una alteración importante de la función u objetivo que el gestor (como intermediario de la sociedad) asigne a un sistema. Por ejemplo, si un monte tiene como función principal la protección y fijación del suelo, puede no importar en ex-

ceso que ello esté garantizado por un recubrimiento arbóreo o por un recubrimiento de tipo arbustivo alto. Por ello, en silvicultura, resulta más adecuado definir el cambio de estado al que hace referencia la definición de resiliencia ecológica en base al mantenimiento (o no) de los bienes y servicios que el monte provee (Folke *et al.*, 2002). Además, en el concepto de resiliencia, aparece un componente espacial y temporal que debe considerarse y que depende de “qué” (bienes y/o servicios) pretende mantener y “frente a qué” factor de cambio (fuego, plaga, sequía etc.) (Carpenter *et al.*, 2001; Drever *et al.*, 2006).

En general, un ecosistema se considera resiliente cuando presenta una elevada heterogeneidad estructural y composicional a distintos niveles organizativos (Loreau *et al.*, 2001). A nivel del sistema forestal, más que la diversidad específica per se, un factor clave para la resiliencia del bosque es la presencia de especies con distintas respuestas frente a factores de cambio, lo que Puettmann (2011) denomina diversidad de tipos de respuesta (ver también Yachi, Loreau, 1999). Por ejemplo, la resiliencia de un bosque (cuya función principal sea la protección del suelo) frente a la ocurrencia de un incendio forestal de gran intensidad aumentará significativamente si contiene especies que presenten la capacidad de rebrotar, otras que acumulen bancos de semilla (en el suelo o en la copa) resistentes al calor del fuego y otras con una elevada capacidad de dispersión y colonización de espacios abiertos. Presentar más de una especie con el mismo tipo de respuesta (redundancia) incrementará a su vez la resiliencia del mismo, dado que se reducirá la dependencia del sistema a la presencia o comportamiento de una especie en particular (Walker, 1995) (*Figura 3*).

Trasladar en la práctica de la silvicultura, con formulaciones concretas, lo expuesto en las secciones precedentes se hace difícil, siendo justo reconocer que la gestión de los bosques como sistemas adaptativos complejos se encuentra aún en una fase conceptual (o teórica) que debe desarrollarse más desde el punto de vista operacional (Puettmann, 2011). Su avance en este sentido estará sujeto a:

- El resultado de experimentaciones y ensayos que se establezcan para testar actuaciones concretas.
- La mejor comprensión de los procesos clave (que actúan en distintas escalas organizativas o en varias de ellas) que incidirán en la persistencia de los sistemas.
- La capacidad de integrar en ella las múltiples limitaciones (sociales, económicas e incluso políticas) a las que debe hacer frente el gestor forestal en el ejercicio diario de su profesión.

5. La regeneración natural ante un futuro incierto

Los tratamientos de regeneración natural son probablemente los que presentan un mayor riesgo para el selvicultor, dado el gran número de factores bióticos (competencia, depredación...) y abióticos (agua, luz, temperatura...) que intervienen y que condicionan su éxito o fracaso (Serrada, 2003). Como se ha reseñado en las secciones anteriores, el presente contexto de cambio climático añade a todo ello variabilidad e incertidumbre. Por ejemplo, la creciente aridez del medio puede impedir la re-



Figura 3. Rodal de *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* con presencia bajo el dosel de *Quercus ilex* subsp. *balotta* (a la izquierda) y *Quercus pubescens* (a la derecha) cerca de Solsona (Lleida).

generación y futuro desarrollado del arbolado joven de especies en estaciones donde ya se encuentran establecidas.

En esta sección se sugieren, de manera muy resumida, algunos principios básicos cuya consideración en los tratamientos de regeneración natural puede contribuir a promover la resiliencia y adaptabilidad del futuro bosque frente al cambio.

5.1. Promover la heterogeneidad estructural, composicional y funcional del regenerado

Los bosques caracterizados por niveles altos de heterogeneidad estructural y composicional, en particular en lo referente a estrategias vitales y tipos de respuesta frente a perturbaciones, presentan una mayor resiliencia y capacidad adaptativa frente al cambio. Por ello, puede optarse desde los tratamientos de regeneración por:

- Favorecer la diversidad en las masas puras, respetando en los señalamientos los individuos de especies acompañantes o secundarias, especialmente si éstas presentan caracteres vitales o de respuesta a las perturbaciones (p.ej. capacidad de rebrote, anemocoria, tolerancia a la sequía) distintos a los de la especie principal.

- Mantener el carácter de masa mixta cuando éste aparezca de forma natural (si bien ello es complejo, dada la naturaleza transitoria de muchas formaciones de este tipo). Las cortas por bosquetes de distinto tamaño, forma y disposición que atiendan al temperamento y localización de las distintas especies dentro del rodal pueden constituir un buen medio para ello (Aunós, 2005; Piqué *et al.*, 2011).
- Potenciar la heterogeneidad estructural, en particular en bosques que por su localización presenten problemas de estabilidad. En masas regulares, ello puede conseguirse, en parte, alargando los períodos de regeneración (Cano, 2003). Los tratamientos de transformación de masa regular a masa irregular pueden asimismo contemplarse si la estructura inicial del bosque y el temperamento de las especies comprometidas lo permite y se justifica desde el punto de vista social y económico (Martín *et al.*, 2014). La heterogeneidad estructural debe en cualquier caso considerarse a distintas escalas (a nivel de monte y paisaje resulta tanto o más clave mantenerla como a nivel del rodal), por lo que debería evitarse la única presencia de una u otra forma principal de la masa en vastas extensiones del territorio.
- Respetar la diversificación del sotobosque cuando éste no constituya una barrera para la regeneración. En estaciones exigentes, el sotobosque puede constituir un elemento clave para el regenerado (facilitación) a través de la protección que puede conferirle frente a factores abióticos (p.ej. procurando sombra o protección frente a heladas) o bióticos (impidiendo el desarrollo de especies herbáceas o protección frente al diente de los herbívoros) (Kunstler *et al.*, 2006; Royo y Carson, 2008). Además, un sotobosque rico incrementa la diversidad y funcionalidad del sistema, y es fuente de refugio y alimento para la fauna favoreciendo procesos de dispersión zoocórica.

5.2. Favorecer la variabilidad genética y fenotípica del regenerado

A nivel de especie, mantener y favorecer la diversidad genética y fenotípica del regenerado es un proceso clave para potenciar la adaptabilidad y resiliencia del sistema (Reque, 2008; Thompson *et al.*, 2009). Ello puede promoverse:

- Conservando la máxima base genética interpretable a nivel del rodal. En las cortas por aclareo sucesivo, retrasando la corta final tras la corta diseminatoria para favorecer la contribución del máximo de árboles madre y beneficiarse de los años veceros.
- Manteniendo y potenciando la heterogeneidad fenotípica del regenerado, dejando en pie, como efectivo reproductor, individuos que presenten distintos morfotipos (reconocibles en la conformación del tronco, copa y hojas), y no sólo aquellos otros que presentan caracteres comerciales favorables.

5.3. Cuidar la “memoria” del sistema

La memoria es una propiedad de los sistemas complejos adaptativos (ver sección anterior) que interviene y afecta la capacidad de auto-organización de los mismos y

su resiliencia. En el antropizado contexto de los bosques ibéricos, hace referencia a menudo a los signos y al legado de usos anteriores del monte. Un ejemplo de la importancia de la memoria en los bosques ibéricos lo constituyen los trasmochos o pies de grandes dimensiones de quercúneas que aparecen dispersos en masas de coníferas como reminiscencia de usos ancestrales (Reque, 2008) (*Figura 4*); su fuente de semilla (bellotas y hayucos principalmente) podría permitir una eventual restauración del dosel arbóreo (gracias a la capacidad de rebrotar) tras la ocurrencia de un gran incendio forestal (Puerta-Piñero *et al.*, 2012).

En los tratamientos de regeneración natural, el cuidado de la memoria puede tratarse a nivel de rodal y de monte (o paisaje):

- En el primer caso pasa por dejar en pie árboles (o grupos de árboles) que presenten características diversas e incluso cierta singularidad (árboles extramadura, de grandes dimensiones, con abundante ramificación...). Además de conferir protección al regenerado, estos árboles contribuirán al sustento de funciones ecológicas clave para el desarrollo de las plantas, tales como el mantenimiento de la comunidad micorrízica y actuarán como fuentes de atracción de fauna facilitando los procesos de dispersión de semilla.
- A nivel del monte, se recomienda respetar pequeñas áreas sin cortar (denomi-



Figura 4. Trasmochos de *Quercus pubescens* (a la derecha) en un rodal de *Pinus sylvestris* cerca de Solsona (Lleida).

nadas en algunos ámbitos “islas de diversidad” o “islotes de envejecimiento”) (Reque, 2008). Con ello, además de incrementar la heterogeneidad estructural del monte, se contribuye a distintos procesos clave para la adaptación al actuar, estas islas, como reservas de material genético, pudiendo contribuir, asimismo, a la creación de corredores (conectividad) que pueden facilitar la migración de especies hacia lugares más favorables para su desarrollo (Lindenmayoer *et al.*, 2012).

5.4. *Actuar a distintas escalas organizativas*

Gestionar en un contexto de incertidumbre solo puede hacerse desde una selvicultura integral y multiescalar (que vaya más allá del árbol individual o del rodal) en la que toda decisión sea tomada teniendo en cuenta las consecuencias que de ella se derivarán a distintos niveles organizativos. Asimismo, los tratamientos de regeneración deben sustentarse en una planificación flexible, y que rehúya, en cierto modo, a esquemas deterministas a largo plazo. En este sentido, la ordenación por rodales, que flexibiliza la zonación (permitiendo poner el acento en la heterogeneidad) e incorpora variabilidad selvícola espacial y temporal presenta un evidente interés (González Molina *et al.*, 2006). El creciente desarrollo de modelos y simuladores forestales que actúan a distintas escalas y que permiten recrear distintos escenarios ambientales y de gestión (Bravo *et al.*, 2011) constituyen asimismo una herramienta de gran utilidad para la planificación.

En el contexto de cambio actual, la fuerza de la selvicultura reside más que nunca en su inherente multidisciplinaridad y capacidad de adaptarse y evolucionar con el tiempo, siendo particularmente importante combinar con acierto:

- El conocimiento práctico y de base empírica del gestor.
- Los avances en la comprensión del funcionamiento y dinámica de los ecosistemas forestales.
- El desarrollo de nuevas técnicas de análisis y seguimiento, cuyo papel es clave para la consecución de una regeneración natural vigorosa y funcional capaz de asegurar la futura persistencia del monte arbolado y la provisión de sus múltiples bienes y servicios a las sociedades.

5.5. *Agradecimientos*

El autor quiere expresar su agradecimiento a Álvaro Aunós, Pau Vericat y Santiago Martín por la relectura crítica del capítulo y por las fructuosas discusiones mantenidas alrededor de su contenido. El artículo es también el resultado de intercambios científicos y técnicos y de largas conversaciones mantenidas con Christian Messier, co-editor del libro *A critique of silviculture. Managing for complexity* (en el que se basa la tercera sección del artículo), en el transcurso de sus múltiples visitas a Solsona.

6. Bibliografía

- Aunós, A., 2005. *Configuración y potencialidades de los bosquetes en las estructuras irregulares*. A: IV Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales, Zaragoza (Mesa 3).
- Blondel, J., Aronson, J., 1995. Biodiversity and ecosystem function in the Mediterranean Basin: human and non-human determinants. In: G.W. Davis, D.M. Richardson (eds.), *Mediterranean-Type Ecosystems. The function of biodiversity*. 43-119. Ecological Studies. Springer-Verlag. Berlín.
- Bravo, F., Bravo-Oviedo, A., Ruiz-Peinado, R., Montero, G., 2008. Selvicultura y cambio climático. En: R. Serrada, G. Montero, J.A. Reque (eds.), *Compendio de selvicultura aplicada en España: 981-1003*. INIA – Fucovasa, Madrid.
- Bravo, F., Álvarez-González, J.G., Río, M., Barrio, M., Bonet, J.A., Bravo-Oviedo, A., Calama, R., Castedo-Dorado, F., Crecente-Campo, F., Condes, S., Diéguez-Aranda, U., González-Martínez, S.C., Lizarralde, I., Nanos, N., Madrigal, A., Martínez-Millán, F.J., Montero, G., Ordóñez, C., Palahi, M., Piqué, M., Rodríguez, F., Rodríguez Soslleiro, R., Rojo, A., Ruiz-Peinado, R., Sánchez-González, M., Trasobares, A., Vázquez-Piqué, J., 2011. Growth and yield models in Spain: historical overview, contemporary examples and perspectives. *For. Syst.* 20(2): 315-328.
- Cano, F., 2003. Gestió del pi negre (*Pinus uncinata* R.). En: Piqué, M. (coord.). *XX Jornades Tècniques Silvícoles*. 43-51. Consorci Forestal de Catalunya. Solsona (Lleida).
- Carpenter, S.R., Walker B.H., Anderies J.M., Abel, N., 2001. From metaphor to measurement: resilience of what to what? *Ecosystems* 4:765-781.
- Drever, C.R., Peterson, G., Messier, C., Bergeron, Y., Flannigan, M., 2006. Can forest management based on natural disturbances maintain ecological resilience? *Can J For Res.* 36(9): 2285-2299.
- Finney, M.A., 2001. Design of regular landscape fuel treatment patterns for modifying fire growth and behavior. *For. Sci.* 47(2): 219-228.
- Folke, C., Carpenter, S.R., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C.S., Walker, B., 2002. Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. *Ambio* 31:437-40
- González Molina, J.M., Piqué Nicolau, M., Vericat Grau, P., 2006. Manual de Ordenación por Rodales: Gestión Multifuncional de los espacios forestales. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (Eds.). 205 pp.
- Grimm, V., Wissel, C., 1997. Babel, or the ecological stability discussions: an inventory and analysis of terminology and a guide for avoiding confusion. *Oecologia* 109: 323-334.
- Gunderson, L.H., 2000. Ecological resilience – in theory and application. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* S31: 425-439.
- Holling, C.S., 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* S4: 2-23.
- Kunstler, G., Curt, T., Bouchaud, M., Lepart, J., 2006. Indirect facilitation and competition in tree species colonization of sub-Mediterranean grasslands. *J. Veg. Sci.* 17:379-388
- Levin, S.A., 1998. Ecosystems and the biosphere as complex adaptive systems. *Ecosystems* 1: 431-436.
- Lindenmayer, D.B., Franklin, J.F., Löhmus, A., Baker, S., Bauhus, J., Beese, W., Brodie, A., Kiehl, B., Kouki, J., Martínez Pastur, G., Messier, C., Neyland, M., Palik, B., Sverdrup-

- Thygeson, A., Volney, J., Wayne, A., Gustafsson, L., 2012. A major shift to the retention approach for forestry can help resolve some global forest sustainability issues. *Conservation Letters*. DOI: 10.1111/j.1755-263X.2012.00257.x.
- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J.P., Héctor, A., Hooper, D.U., Huston, M.A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D., Wardle, D.A., 2001. Biodiversity and Ecosystem Functioning: Current Knowledge and Future Challenges. *Science* 294 (5543): 804-808.
- Manuel, C. y Gil, L., 1997. La transformación histórica del paisaje forestal español. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Martín-Alcón, S., González-Olabarría, J.R., Coll, L., 2010. Wind and snow damage in the Pyrenees pine forests: effect of stand attributes and location. *Silva Fennica* 44(3): 399-410.
- Martín, S., Montero, R., Coll, L., Aunós, A., 2014. Propuesta metodológica para el establecimiento de una red experimental de estructuras irregulares por bosquetes en masas de pino silvestre de Cataluña. En: *V Reunión del Grupo de Trabajo de Selvicultura de la Sociedad Española de las Ciencias Forestales (SECF)*, Madrid.
- Messier, C., Puettmann, K.J., Coates, K.D. (eds.); 2013. Managing Forests as complex adaptive systems. Building resilience to the challenge of global change. *The Earthscan Forest Library* (series). Routledge.
- Millar, C.I., Stephenson, N.L., Stephens, S.L., 2007. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecol. Appl.* 17(8): 2145-2151.
- Piqué, M., Beltrán, M., Vericat, P., Cervera, T., Farriol, R., y Baiges, T., 2011. Models de gestió per als boscos de pi roig (*Pinus sylvestris* L.): producció de fusta i prevenció d'incendis forestals. Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya, Barcelona.
- Puerta-Piñero, C., Espelta, J., Sánchez-Humanes, B., Rodrigo, A., Coll, L., Brotons, L., 2012. History matters: previous land use changes determine post-fire vegetation recovery in forested Mediterranean landscapes. *For. Ecol. Manage.* 279: 121-127.
- Puettmann, K.J., Coates K.D., Messier, C., 2009. A critique of silviculture. Managing for complexity. Island Press, Washington, D.C., USA.
- Puettmann, K.J., 2011. Silvicultural challenges and options in the context of global change: "simple" fixes and opportunities for new management approaches. *J. of Forestry* 109(11): 321-331.
- Reque, J.A., 2008. Selvicultura en espacios naturales protegidos. En: R. Serrada, G. Montero, J.A. Reque (eds.), *Compendio de selvicultura aplicada en España*: 981-1003. INIA-Fucovasa, Madrid.
- Royo, A.A., Carson, W.P., 2006. Direct and indirect effects of a dense understory on tree seedling recruitment in temperate forests: habitat-mediated predation versus competition. *Can. J. For. Res* 38: 1634-1645.
- Serrada, R., 2003. Regeneración natural: situaciones, concepto, factores y evaluación. *Cuad. Soc. Esp. Cien. For.* 15: 11-15.
- Stephens, S.L., Millar, C.I., Collins, B.M., 2010. Operational approaches to managing forests of the future in Mediterranean regions within a context of changing climates. *Environ. Res. Lett.* 5: 1-9.
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S., Mosseler, A., 2009. Forest resilience, biodiversity, and climate change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in

forest ecosystems. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Technical Series no. 43, Montreal.

Vayreda, J., 2012. Impactes del canvi global sobre els boscos de la Península Ibèrica: Estocs, creixement i regeneració. Tesis Doctoral. CREA-Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona.

Waldrop, M.M., 1992. *Complexity: The emerging science at the edge of order and chaos*. New York: Simon, Schuster.

Walker, B.H., 1995. Conserving biological diversity through ecosystem resilience. *Cons. Biol.* 9: 747-752.

Yachi, S., Loreau, M., 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 96: 1463-1468.

