



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
juliol · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

El futuro de los pinares de repoblación del Parque Nacional de Sierra Nevada. Estado actual y efectos de los tratamientos selvícolas sobre la vegetación natural.

MESA GARRIDO, MIGUEL ANGEL.¹

¹Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Granada.

Resumen

En lo que actualmente es el Parque Nacional de Sierra Nevada se repoblaron unas 22.258,73 ha. con especies del género *Pinus*, desarrollándose la actividad principalmente entre los años 1942 y 1985, a excepción de las repoblaciones desarrolladas en el año 1935 en Cáñar y Soportujar. Se plantaron a una altitud de entre los 1800 y 2000 (2500) m y ocupan buena parte del espacio propio de la serie supra-mesomediterránea filábrica y nevadense malacitano-almijareense y alpujarreño-gadoreense silicícola de la encina (*Quercus rotundifolia*), Valle et.al (2003) dominado por el enebro-piornal. Por su posición intermedia de tránsito hacia la alta montaña, cuentan con una gran biodiversidad y se dan un buen número de endemismos de Sierra Nevada. La existencia de los pinares sustituye una gran biodiversidad de especies, precisamente en la orla de tránsito hacia la alta montaña por lo que nos hace plantearnos el futuro de los pinares de montaña. La gestión forestal mediante la silvicultura podría ser la herramienta ideal para la transformación del paisaje. En este trabajo se plantean algunas alternativas para la recuperación de la vegetación potencial. Planteamos la gestión forestal basada en tratamientos selvícolas sometiendo a los extensos pinares de repoblación a claras intensas. El objetivo de la gestión forestal es la recuperación de las especies sustituidas por las repoblaciones, especies más resilientes frente al cambio climático y el aprovechamiento de biomasa como alternativa socioeconómica local.

Palabras clave

Ecología forestal, biodiversidad forestal, *Pinus*, *Quercus rotundifolia* silvicultura, gestión forestal.

1. Introducción

La política repobladora desarrollada en España a partir de la guerra civil supuso la plantación de millones de hectáreas como ya se preveía en el Plan General de Repoblación Forestal de España encargado por Franco a los Ingenieros de Montes Joaquín Ximénez de Embún y Luis Ceballos y Fernández de Córdoba. La repoblación forestal masiva se produjo entre los años 1942 y 1985 en Sierra Nevada y dejó más de 42.000 ha repobladas, de las cuales 27.300 son de *Pinus sylvestris* FERNÁNDEZ, et al. (2011) y *Pinus uncinata*, situadas incluso por encima de los 2.500 m de altitud, ocupando altitudes no rebasadas por especies arbóreas de forma natural.

La repoblación forestal se justifica por la los altos procesos erosivos, consecuencia de la alta deforestación que existía (Figuras 1 y 2). Muchos de estos terrenos habían estado sometidos a roturaciones a lo largo del siglo XIX, a una alta carga ganadera y a aprovechamiento incontrolado de leñas y matorral. Como consecuencia de ello, buena parte de los referidos terrenos estaban afectados por una alta deforestación y sometidos a altos procesos erosivos, debido principalmente a las elevadas pendientes y a la presencia de lluvias torrenciales típicas de la montaña media (Figuras 1 y 2). Las repoblaciones se desarrollaron con semillas de *Pinus sylvestris* procedentes de los pinares de la Sierra de Guadarrama en las provincias de Ávila y Segovia y de los pinares maduros existentes en el Monte de Cáñar (Granada) que había sido repoblado ya a principios del siglo XX.



Figura 1. Monte de Ferreira en el año 1941 preparando la repoblación Fuente: Fototeca Forestal Española INIA.

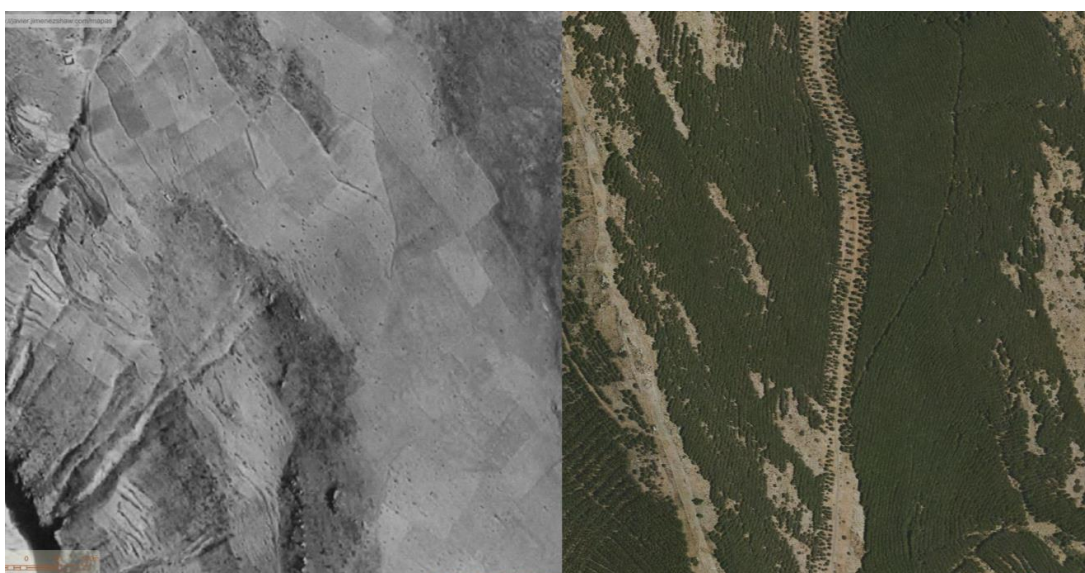


Figura 2. Monte Chaparral de Laroles, comparativa años 1956 y 2015. Fuente: Fototeca Forestal Española INIA.

El germen de las primeras repoblaciones forestales en Sierra Nevada lo podemos situar a partir de la Memoria general de repoblación y mejora de los montes públicos de la Provincia de Granada y Almería de 1881, en cumplimiento del Art. 7º del Reglamento de 18 de Enero de 1878, elaborado por los Distritos Forestal de Granada y Almería. En la memoria se recogían las especies principales existentes en los montes públicos y las necesidades de intervención en cada una de las zonas, en concreto en el ámbito de Sierra Nevada. Posteriormente, ya en el año 1928, el ingeniero de montes y Jefe del Distrito Forestal de Granada, D. Eladio Caro, redactó para la Diputación Provincial un anteproyecto para la repoblación forestal de Sierra Nevada. El mismo, viene a confirmar una vez más el lamentable estado de deforestación en el que se encontraban los montes de Sierra Nevada, situación que se viene a confirmar de nuevo ya entrado el siglo XX.

Entre los 2.000 y 2.200 m en el límite del timber line o límite de la zona arbolada, coincidiendo con las cotas inferiores de los pisos mesomediterráneo y supramediterráneo, son escasas o nulas en general las representaciones de formaciones arboladas, con escasa representación del termomediterráneo. Estando ocupados esencialmente por repoblaciones del género *Pinus*

(fundamentalmente *Pinus sylvestris*, *P. nigra* *sbp. nigra* y *sbp. austriaca*). Entre los 2.200 y 2.500 metros, coincidiendo con el piso bioclimático oromediterráneo, son importantes las repoblaciones efectuadas con *Pinus uncinata* en distintas zonas del Parque Nacional. El resto de este piso se encuentra ocupado por matorrales nobles y enebrales, así como pastizales de alta montaña.

Las repoblaciones que dieron lugar a estos pinares se justificaba por la necesidad de corregir los altos procesos erosivos como se ha dicho. Actualmente, cumplen una función de conservación principalmente. El Plan de Ordenación, (Decreto 238/2011, de 12 de julio), recoge específicamente como herramienta contra los incendios forestales la *“realización de clareos en masas de pinares de repoblación para potenciar la presencia de especies autóctonas y de matorral, así como disminuir su combustibilidad”*. Propone *“La progresiva evolución de los pinares de repoblación hacia masas más diversas, mezcladas con frondosas autóctonas y más integradas paisajísticamente”*. Y finalmente las actuaciones forestales se orientarán a regenerar las especies autóctonas en los montes públicos del Parque Natural, con especial atención a las especies del género *Quercus* y a los pinares climácicos y subclimácicos. A la regeneración del monte bajo y la restauración del matorral en las áreas críticas, así como a recuperar y reforzar las especies forestales características de ecosistemas mediterráneos, como forma de aumentar la variedad específica del Parque Natural. Los pinares del Parque Nacional de Sierra Nevada se caracterizan por tener una elevada densidad, y una buena parte de ellos aún no han sido sometidos a ningún tratamiento. Por esta razón, el Plan de Ordenación y Gestión de Sierra Nevada, (Decreto 238/2011, de 12 de julio) recoge favorecer la evolución y naturalización de los pinares de repoblación, mediante la elaboración y puesta en práctica del Programa de Naturalización y Diversificación de masas forestales de repoblación. En este sentido, la ordenación contempla como principal objetivo la capacidad del pinar de albergar otras especies mejorando la diversidad. A largo plazo, el pinar será transformado en masa mixta de pinar-encinar para que, finalmente, se produzca la sustitución de los pinos por encinas y los matorrales seriales a causa de la inexistencia o escasa regeneración del pinar, como se verá.

Uno de los efectos más generalizados sobre el calentamiento global detectados en distintos ecosistemas del planeta es el ascenso altitudinal de las plantas ESCUDERO et al. (2015), idea esta que parece una tendencia general. Sin embargo se han detectado importantes diferencias en la extensión e importancia de estos patrones, especialmente en las montañas mediterráneas. La existencia de una orla de pinar de repoblación que ocupa los matorrales de la media montaña supone un freno al movimiento altitudinal de las especies, principalmente las quercíneas.

Estos tratamientos se desarrollaron mediante la ejecución de claras de hasta el 50% de los pies, según está programado en los proyectos de ordenación aprobados y en vigor para los montes Públicos del Parque Nacional de Sierra Nevada. Los tratamientos realizados han supuesto un importante ensayo al haberse utilizado distintas fórmulas, lo que implicaría también una respuesta diferente de los espesos pinares a la entrada de luz.

El estado actual de los pinares responde a dos situaciones: por un lado aquellas repoblaciones que recibieron clareos pos-repoblación en sus primeros años tras la plantación, y por otro, aquellas repoblaciones que tras la plantación no recibieron ningún tratamiento. Las actuaciones de clareo comienzan en Sierra Nevada a partir de 1960, desarrollándose sobre unas 10.945 ha intervenidas, a pesar de ello, siguen siendo masas muy densas. Esto condiciona la forma de ejecución actual de las claras con el objetivo de mejorar el estado de la masa y disminuir la competencia para garantizar su persistencia. A pesar de ello, no se han logrado en este medio plazo transcurrido masas más naturalizadas. Los pinares poseen un buen estado vegetativo a pesar de la elevada densidad que soportan, debido a la gran capacidad de producción de biomasa. Los pinares han logrado cerrar el dosel, tanto las superficies en que se han realizado los clareos, con menor competencia y fustes más vigorosos, como los que no recibieron tratamientos previos. Cuentan con una mayor espesura y mayor nivel de competencia con fustes dobles y triples y una alta competencia entre ellos. Su sombra no

permite la entrada de ninguna otra especie. Además de ello, según el 4º Inventario Forestal Nacional IFN (2008) se aprecia en los anillos de crecimiento que la masa comienza a estancar su crecimiento.

Debido a la estructura de las masas de pinar después de los clareos, la Ordenación ha establecido en el plan de aprovechamientos como prioritario la producción de biomasa, y no se considera la regeneración o mejora a priori, ya que no se persigue a medio-largo plazo el mantenimiento de la masa en su estado actual. En el conjunto de la Alpujarra concretamente, la Ordenación ha establecido tres grados de prioridad, y se ha calculado la biomasa extraíble a partir de la biomasa existente en cada rodal cuyo valor medio es del 40%, llegando al 50% en masas con más de 1800 pies por hectárea, que es el caso de todos los rodales tratados hasta ahora.

Considerando el ritmo de claras que se realizan actualmente, la producción de biomasa podría resultar un elemento dinamizador de la economía en muchos municipios de Sierra Nevada. Si consideramos que la mayoría de los pinares a los que nos referimos, se sitúan en montes de propiedad de Ayuntamientos y que la adjudicación de los aprovechamientos es una competencia de éstos, la extracción de la biomasa podría ser exclusiva de pequeñas empresas locales o cooperativas. Uno de los aspectos que encarecen la biomasa producida en Sierra Nevada, es el transporte hacia las fábricas de Pellets o industrias de aserrío. Asimismo, la extracción de biomasa no genera ningún empleo, ni directo ni indirecto, por lo que la instalación de alguna fábrica de pellets o aserradero podría paliar los costes de transporte. Generar asimismo empleo local con la creación de pequeñas empresas o cooperativas, de forma que la materia prima se procesara en la zona y saliera ya procesada al mercado. En la actual coyuntura, la necesidad de someter los bosques de repoblación en el tránsito a la alta montaña de Sierra Nevada a tratamientos basados en claras puede suponer una oportunidad económica local, además de servir para preservarlos frente a los efectos del cambio climático.

Tabla 1. Coste global de la repoblación en Sierra Nevada. Extracto de la provincia de Granada. Fuente: Mesa 2016.

Zona	Periodo	Superficie repoblada	Coste Repoblación*	Coste Conservación	Coste plagas	Coste incendios	Varios	Inversión total
Alpujarra	1943-1984	17.096,84	129.721.239,94	11.039.163,25	1.368.022,76	349.197,37	875.550,16	143.353.173,48
Marquesado	1941-1972	20.989,92	105.634.681,01	8.631.196,63	479.539,00	381.409,65	60.945,05	115.187.771,34
S.N. Poniente	1942-1985	19.345,58	138.165.083,78	3.783.658,86	777.907,84	231.500,54	33.527,66	142.991.678,68
Lecrin	1948-1982	9.588,80	82.876.692,78	4.163.956,75	167.983,31	327.995,09	464.367,43	88.000.995,36
Totales		67.021,14	456.397.697,51	27.617.975,49	2.793.452,91	1.290.102,65	1.434.390,30	489.533.618,86
		%	94,18	4,73	0,19	0,37	0,53	100,00

* Incluye también el coste de reposición de marras y 2ª repoblación.
Fuente: Archivo MAGRAMA. Elaboración propia

Desde el punto de vista socioeconómico, antes de la repoblación los aprovechamientos fueron importantes con la explotación de pastos, leñas, cultivos de montaña, etc. A partir de 1941 empieza la repoblación forestal y con ella la desaparición progresiva de los aprovechamientos citados. Desde el punto de vista socioeconómico, algunos municipios recibieron inversiones que, transformadas en jornales, paliaron considerablemente el problema del paro estacional y se prolongó durante meses. Las inversiones llegaron a suponer la permanencia de un número importante de trabajadores. Concretamente, los municipios más afectados: Aldeire, Iznalloz, Jéres, La Peza, Baza y Huétor Santillán, se calcula que entre sesenta y cien trabajadores permanecieron durante esos años. Por comarcas, destacan entre otras de la provincia El Marquesado del Cenete.. Mesa (2016). Terminada la repoblación, desaparecieron todos los ingresos posibles. En este sentido, el aprovechamiento de los recursos actuales, maderas, leñas y biomasa en general vendría a poner en valor los esfuerzos pasados y a paliar la economía local (Tabla 1).

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados de la gestión forestal desarrollada en el Parque Nacional de Sierra Nevada en los últimos 20 años con el fin de:

1.- Comprobar la respuesta de la vegetación potencial a los tratamientos selvícolas desarrollados sobre los pinares del Parque Nacional en los últimos 20 años y verificar la idoneidad de las fórmulas utilizadas en la gestión forestal.

2.- Constatar la entrada de vegetación potencial y de especies oportunistas y recolonizadoras en los rodales tras la apertura del dosel, según el tipo y fórmula de intervención así como la intensidad de la clara y verificar el nivel de regeneración de especies que se ha producido a lo largo de este tiempo, la capacidad de regeneración de *Pinus sylvestris* y de *Quercus ilex*.

3.- Mostrar la necesidad de actuar en dichos pinares de repoblación en esta misma línea, con similares o distintos procedimientos y siempre dirigidos a la recuperación de la biodiversidad como herramienta imprescindible para la adaptación al cambio climático.

4.- Poner en valor la gran cantidad de biomasa producida por los pinares en forma de fustes maderables y no maderables que se precisa sacar de los pinares, ya que su difícil y lenta incorporación al suelo no favorece e impide la entrada de especies propias de estos ambientes. Al mismo tiempo, dinamizar las maltrechas economías de esta zona deprimida de montaña.

3. Metodología

La selvicultura que siguió a las intensas repoblaciones en el territorio que hoy es el Parque Nacional de Sierra Nevada ha sido importante, de las 22.258,73 ha repobladas en el Parque Nacional, unas 12.052,35 ha (el 54,14 %) han recibido algún tipo de tratamiento selvícola. Generalmente, se trató de clareos, eliminación de pies jóvenes, pies dobles y mal conformados en masas regulares y coetáneas, con el fin de disminuir la densidad y competencia y mejorar la masa resultante. En estas actuaciones, hay que incluir también los clareos destinados a la prevención de incendios forestales, que supuso la actuación en los bordes de pistas forestales y como ampliación de cortafuegos mediante las denominadas fajas auxiliares. No obstante, el ritmo de actuaciones sobre las repoblaciones es excesivamente lento si tenemos en cuenta la gran capacidad de regeneración y producción de biomasa que estos montes han tenido hasta ahora.

Con la llegada de las transferencias en materia forestal a Andalucía, nace una nueva fórmula de tratamientos selvícolas denominada “naturalización de pinares” primero y “naturalización de masas forestales” posteriormente PLAN FORESTAL ANDALUZ (1989). En este nuevo contexto, los tratamientos selvícolas, requieren de estudios y ensayos previos. Por su localización en Sierra Nevada y por la superficie tratada en su conjunto, (en torno a 1.945,5Has), los tratamientos realizados (Figura 12) pueden considerarse actuaciones de ensayo por lo que se han tomado como modelo los tratamientos que se vienen realizando desde hace más de veinte años en Sierra Nevada sobre pinares, con los que se llega a algunas conclusiones.

No obstante, las actuaciones no fueron suficientes como consecuencia de los altos costes a los que habría de enfrentarse la administración forestal a causa de las altas densidades y la gran cantidad de biomasa a eliminar, en su caso. Por esta razón, entre 2000 y 2019 solo se trataron en el Parque Nacional un total de 1945,5 ha. Claras desarrolladas en distintos montes con distintas fórmulas de actuación en función de algunos parámetros como pendiente, altitud, tipo de plantación (en terrazas, ahoyado lineal o ripeado). Aunque las plantaciones obedecieron siempre a fórmulas similares, plantación en terrazas con dos filas de árboles sobre suelo abierto con ripper o bien con hoyos manuales. Asimismo, la planta procedente de viveros, generalmente volantes, estaba tratada

mediante el repicado de la raíz principal, aspecto a tener en cuenta a la hora de programar la intensidad de corta. Se ha comprobado que, según la intensidad de la corta, se corre el riesgo de caída masiva de árboles a causa del aislamiento producido tras la clara. Esto puede suceder porque la nieve y los vendavales son frecuentes a las altitudes a las que están plantados. Asimismo, los datos muestran que una puesta en luz excesiva supone la entrada de especies oportunistas como *Adenocarpus decorticans*, en principio no esperadas y menos aún deseadas, sobre todo en ambientes del sur de Sierra Nevada como la Alpujarra Oriental, desde el municipio de Nevada, hasta Laujar de Andarax y Paterna del Río en la provincia de Almería.

La elección tanto de la especie como la altitud máxima a repoblar en Sierra Nevada obedecía a criterios técnicos y a los ensayos previos desarrollados por el Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE) en Lanjarón (Granada). La elección fue bastante acertada salvo algunas excepciones si tenemos en cuenta los datos fitoclimáticos actuales. Según los datos aportados por FERNÁNDEZ et al (2011) y comparando los datos Fitoclimáticos de la Sierra de los Filabres en la que el subtipo dominante es el IV (VI)₁ (nemomediterráneo arbóreo transicional subesclerófilo), con una superficie aproximada de 226.973,4 ha, de las que corresponden al Espacio Natural de Sierra Nevada unas 74.014,73, una parte de los pinares de montaña de Sierra Nevada estaría incluida en este subtipo, que no es compatible con el pino silvestre en ninguna zona de España (Figura 4). Según FERNÁNDEZ et al. (2011) solo podrían aparecer masas densas de pino silvestre en la alta montaña mediterránea si el subtipo fuese el IV (VII), que ocupa en Sierra Nevada 55.009,82 ha, precisamente parte de la zona ocupada por los pinares de repoblación, lo que indicaría el éxito actual de estas masas de pinar del Parque Nacional de Sierra Nevada.



Figura 3. Zona regenerada rodeada de pinar de repoblación a 1900 m en Sierra Nevada.

Según el Mapa Fitoclimático de ALLUE (1990)₁, los tipos fitoclimáticos que se describen para los pinares del Parque Nacional de Sierra Nevada son de los tipos IV (VI)₁ definido como asociación de lentiscales, coscojares, acebuchales, encinares (*Quercus ilex rotundifolia*) y encinares alsinares (*Quercus ilex ilex*), mediterráneo arbóreo meseteño transicional con tendencias nemorales subesclerófilas e indicios subestépico. La zona de este modelo fitoclimático en Sierra Nevada está ocupada por encinares y pinar de repoblación, con mezclas de *Pinus sylvestris* L., *Pinus nigra* Arnold y

Pinus nigra var. *austriaca* Asch. & Graebn.. Le sigue en altitud el subtipo IV (VII) a partir de los 1.800 m hasta 2.200 m de altitud aproximadamente, en la zona no culminar de la provincia de Granada y zona culminar en el sector más oriental de la de Almería, con predominio de pinares de repoblación de *Pinus sylvestris*. Las zonas más altas, lejos del límite natural del arbolado, está representado por el subtipo bioclimático de alta montaña X (IX)₂, definido como tipo fitoclimático Oroborealoide donde dominan los pinares de silvestre de repoblación en la zona culmen de la provincia de Almería y sin arbolado en la zona no culminar de la provincia de Granada donde predominan las altas cumbres a partir de los 2.900 metros de altitud en la que no es posible el arbolado (Figura 4).

Contrasta con los amplios pinares la vegetación existente en las parcelas próximas a estos. Muestra la recuperación de la biodiversidad con la regeneración tras el abandono agrícola coetáneo con las extensas repoblaciones. Sirven como ejemplo para deducir cual será el futuro de las repoblaciones en la mayoría de los casos con la ausencia de regeneración en los pinares (Figura 3).

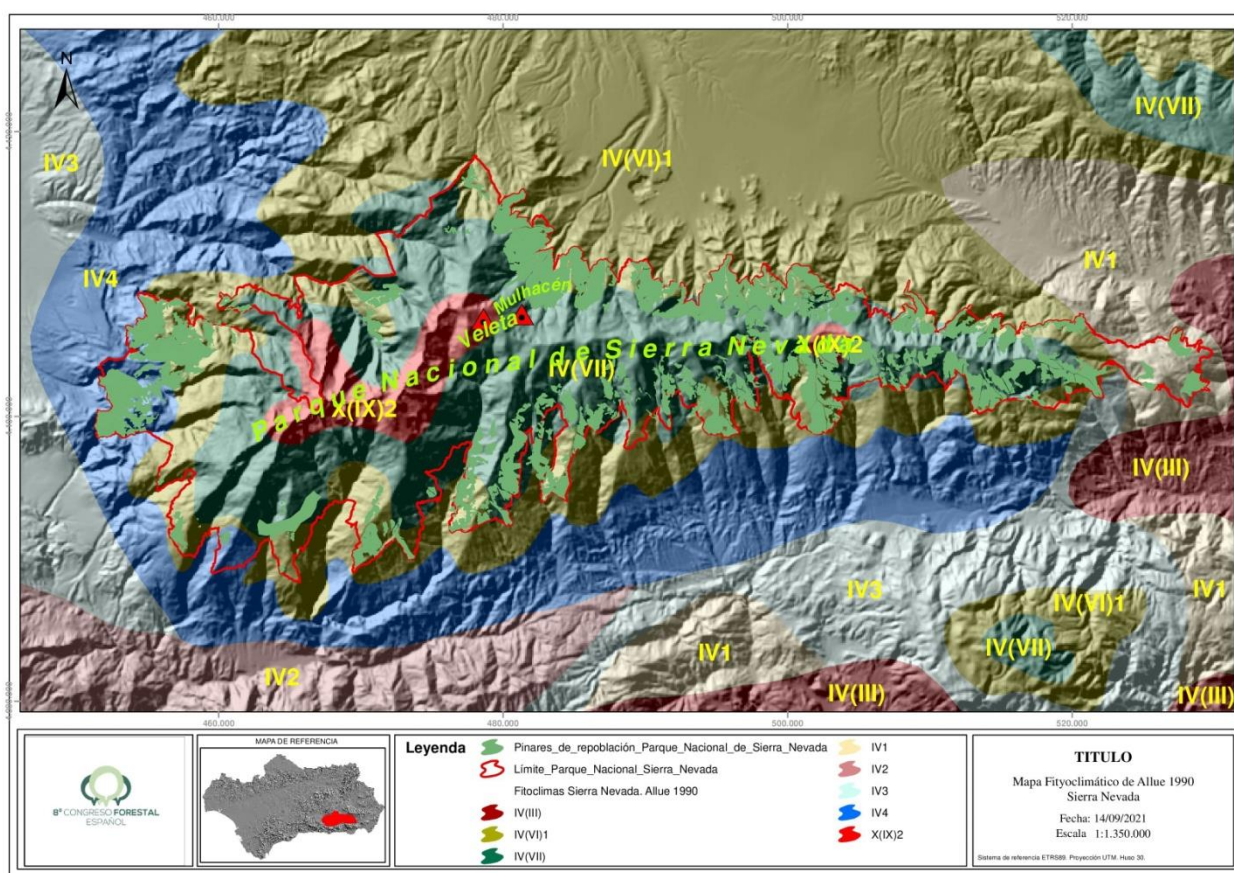


Figura 4. Mapa representativo de Áreas fitoclimáticas del Parque Nacional de Sierra Nevada Fuente: Mapa de sombras, Áreas Fitoclimáticas de Allue 1990, elaboración propia.

En el contexto actual en el que el cambio climático es evidente, el futuro de los pinares de repoblación en la zona de tránsito hacia la media-alta montaña de Sierra Nevada es incierto, pero sobre todo, la no intervención sobre ellos podría suponer un freno a la sucesión ecológica y la consolidación de la pérdida de biodiversidad provocada por las repoblaciones *per se*.

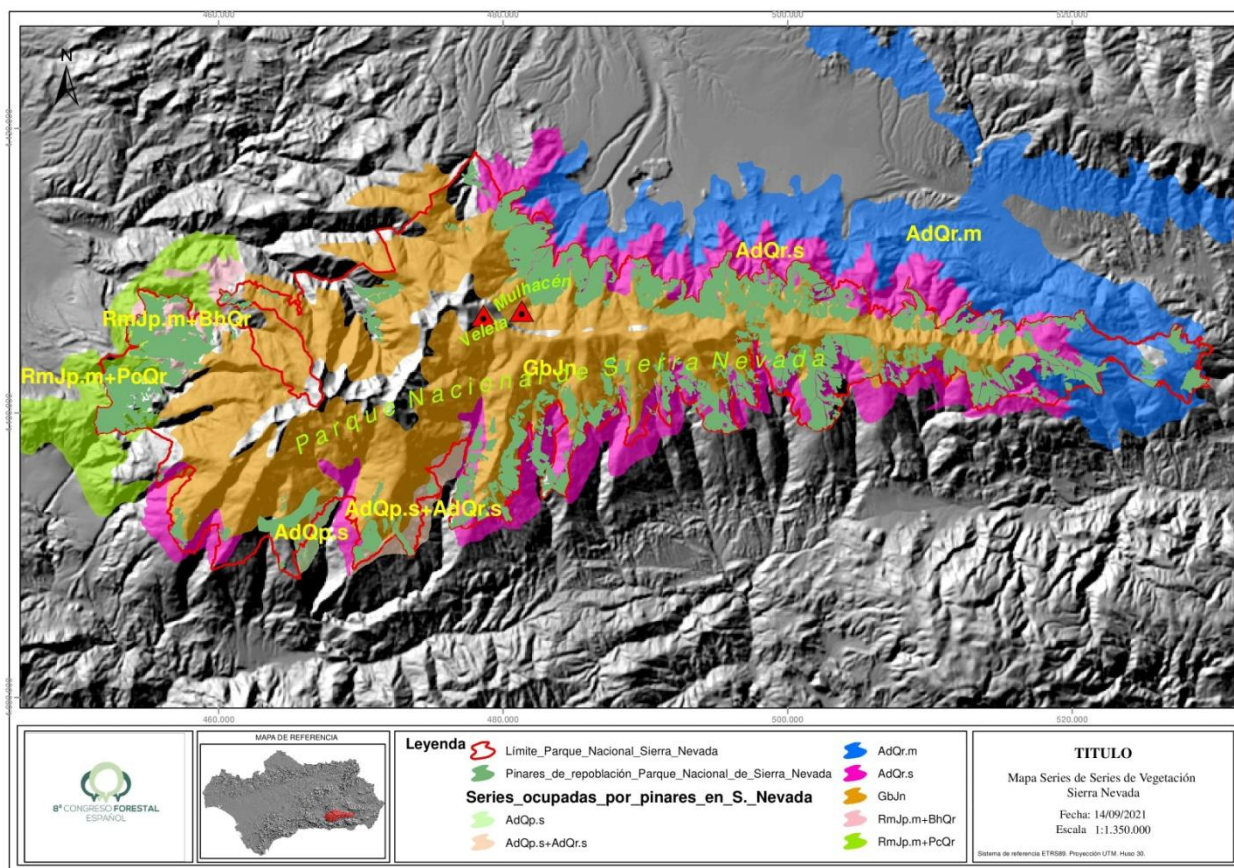


Figura 5. Mapa representativo de las Series de Vegetación ocupada por pinares de repoblación en el Parque Nacional de Sierra Nevada. Fuente: Mapa de sombras, Series de Vegetación, (Valle et.al 2003), elaboración propia.

La vegetación potencial está representada principalmente por las series VALLE et.al. (2003), 1) Bosques silicícolas de encinar-espinar, de la serie AdQr.s: Serie supra-mesomediterránea filábrica y nevadense, malacitano-almijareense y alpujarreño-gadoreense silicícola de la encina (*Quercus rotundifolia*): *Adenocarpus decorticans*-*Quercus rotundifolia* S. Faciación típica supramediterránea con *A. decorticans*. 2) Bosques silicícolas de encinar-coscojal de la serie AdQr.m: Serie supra-mesomediterránea filábrica y nevadense, malacitano-almijareense y alpujarreño-gadoreense silicícola de la encina (*Quercus rotundifolia*): *Adenocarpus decorticans*-*Quercus rotundifolia* S. Faciación mesomediterránea con *Retama sphaerocarpa*. 3) Bosques de encinar-melojar de la serie AdQp.s+AdQr.s: Mezcla de *Adenocarpus decorticans*-*Quercus pyrenaica* S. Faciación típica supramediterránea y de *Adenocarpus decorticans*-*Quercus rotundifolia* S. Faciación típica supramediterránea. 4) Sabinas-enebrales rastreros de la serie, RmJp.m+PcQr: Serie edafoxerófila mesosupramediterránea malacitano-almijareense, guadiciano-bacense, rondeña y Subbética basófila de la sabina mora (*Juniperus phoenicea*) *Ramno mirtifolii*-*Junipereto phoeniceae* S.+, 5) Sabinas de sabina mora de la serie, RmJp.m+BhQr: Serie edafoxerófila mesosupramediterránea malacitano-almijareense, guadiciano-bacense, rondeña y Subbética basófila de la sabina mora (*Juniperus phoenicea*) *Ramno mirtifolii*-*Junipereto phoeniceae* S.+m+B. 6) Bosques silicícolas de roble melojo de la serie AdQp.s: Serie meso-supramediterránea nevadense y malacitano-almijareense silicícola del roble melojo (*Quercus pyrenaica*): *Adenocarpus decorticans*-*Quercus pyrenaica* S. Faciación típica supramediterránea. Y 7) enebrales rastreros nevadenses de la serie GbJn: Serie oromediterránea filábrico-nevadense silicícola del enebro rastrero (*Juniperus communis* subsp.nana): *Genisto baeticae*-*Junipereto nanae* S. (Figura 5).

Se trata de masas densas y muy homogéneas, sin sotobosque, cuyas densidades oscilan entre los 1.000 y los 2.500 pies por hectárea y una media de más de 1.600 pies por hectárea JUNTA DE ANDALUCÍA (2013). De los tratamientos selvícolas realizados en los últimos 20 años, hemos seleccionado los 22 rodales tratados con porcentajes de corta superiores al 40 % de los árboles, según se establece en los proyectos de ordenación de los montes. Gracias al criterio técnico, la distribución nos ha permitido contar con tratamientos muy representativos de los pinares del Parque Nacional de Sierra Nevada en todos los ámbitos. Se han dado parámetros diversos en cuanto a la orientación, altitud, suelo, tipo de plantación, fórmula de tratamiento, forma de eliminación de residuos, distancia al banco de semillas, encinares y especie del género *Pinus* existente, etc... Hemos analizado los resultados de la apertura del dosel según los planes de saca desarrollados en los distintos tratamientos. De esta forma, la gestión forestal de los últimos años se desarrolló con criterios técnicos diferentes según el tipo de masa a tratar y se aplicó la fórmula más adecuada. De este modo hemos analizado las cuatro fórmulas de tratamiento empleadas, y con esta información hemos comprobado la existencia de regeneración y la especie, considerando las especies oportunistas, la cercanía a banco de semillas en el caso de quercíneas, recolonizadoras, desarrollo y cantidad, comprobando la mejora o no de biodiversidad, utilizando como patrón otras parcelas no repobladas, siempre próximas a las tratadas.

4. Resultados

4.1. Métodos selvícolas aplicados:

De los 22 rodales tratados, se han tomado como ejemplo de corta cuatro de los modelos que se vienen realizando en Sierra Nevada sobre pinares, con los que se llega a algunas conclusiones, sobre todo en el caso de los pinares de repoblación de *Pinus sylvestris* en cotas altas donde se sitúan. Se siguió el mismo modelo de repoblación, consistente en la plantación en terrazas siguiendo las curvas de nivel con dos líneas de árboles, cuyo resultado fueron masas homogéneas y coetáneas con alta espesura de hasta 2.500 pies por hectárea. Como consecuencia de ello, los tratamientos han seguido básicamente cuatro procedimientos de forma sistemática sin señalamiento de pies a cortar, tres de ellos en terrazas. Uno, consistente en la corta de una línea completa de cada tres terrazas y en el resto un árbol de cada tres, cuya resultante es la corta de un 40-50 % de los pies aproximadamente (Figura 6). El segundo método también de forma sistemática consistió en la corta de calles siguiendo la línea de máxima pendiente separadas entre sí entre 20 y 30 metros (Figura 7). En la mayoría de los casos el procedimiento ha sido mecanizado con procesadora. Una tercera fórmula consistente en la corta de una calle completa de cada cuatro y se completa con la entresaca selectiva en el resto de calles hasta el 50% aproximadamente de los árboles (Figuras 8 y 10). Finalmente, se ha utilizado una fórmula de clara en bosquetes (Figura 9) consistente en la corta del 90 % de los árboles de cada bosquete, dejando sólo árboles porvenir.

Las fórmulas de plantación, las elevadas pendientes en muchos casos, la espesura y la propia estructura de los pinares, no han permitido una silvicultura de orden tradicional. Los pinares de repoblación del Parque Nacional de Sierra Nevada, constituyen áreas dominadas por un ambiente natural con un alto grado de humanización y con capacidad para admitir altas intensidades de uso y aprovechamientos. En este sentido, teniendo en cuenta los objetivos de la Ordenación, los tratamientos selvícolas serán los adecuados para *“La progresiva evolución de los pinares de repoblación hacia masas más diversas, mezcladas con frondosas autóctonas y más integradas paisajísticamente”*: *“La conservación, regeneración y saneamiento de las formaciones, puras o mixtas, de frondosas autóctonas, así como de las formaciones de matorral noble”*, mediante programas específicos, en este caso el *“Programa de naturalización y diversificación de masas forestales de repoblación”* (REDIAM, JUNTA ANDALUCÍA 2013). Por tanto no se pretende llevar a los pinares de repoblación a masas de pinar naturalizados o subespontáneos, heterogéneo, sino a una

modificación a largo plazo de su estructura, la mezcla con frondosas y las recuperación de los matorrales seriales propios de estos ambientes.

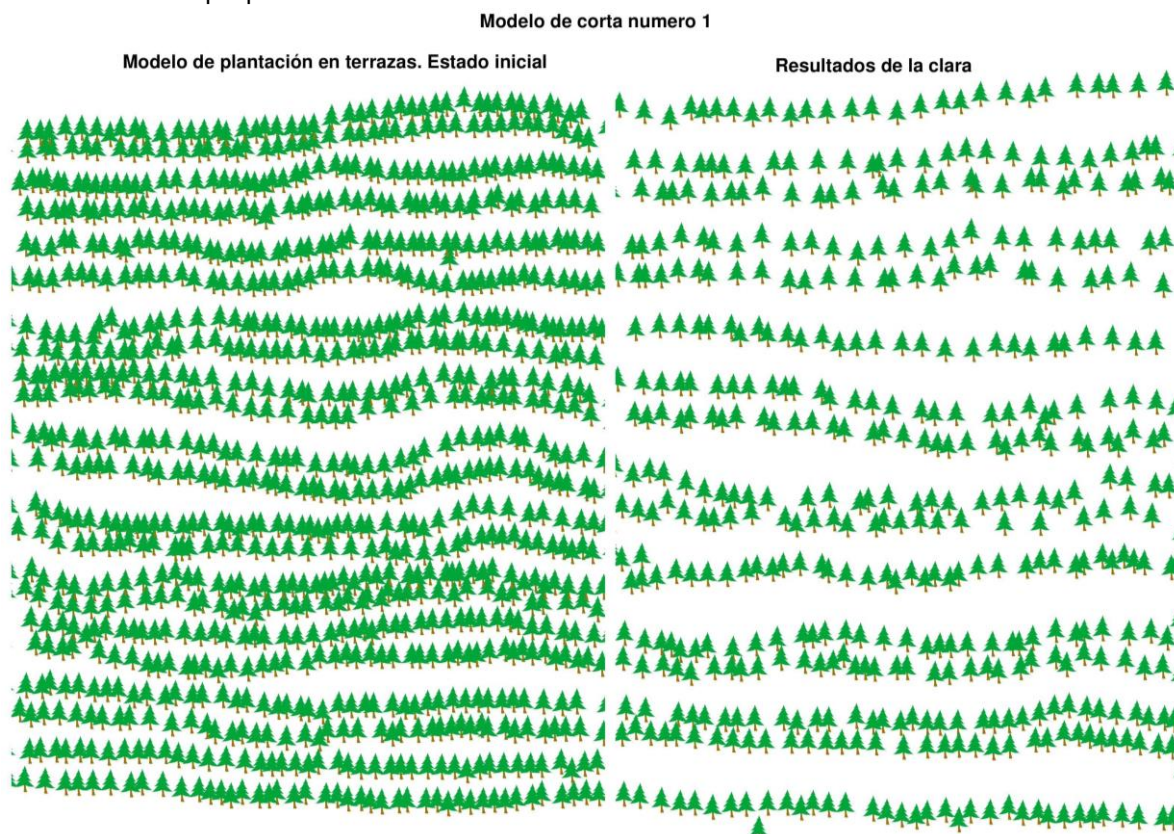


Figura 6. Modelo de plantación en terrazas y modelo de corta en terrazas 1. Fuente: Imitación simulada de corta real, elaboración propia.

Sobre el modelo de plantación en terrazas se siguió un modelo de corta (1) consistente en la corta sistemática sin señalamiento de una línea de árboles completa de cada seis (tres terrazas), en el resto de filas se cortó uno de cada tres árboles con un porcentaje aproximado de corta del 40-50 % en total. La saca se realizó con autocargador siguiendo una de las terrazas y por las vías de saca abiertas en sentido de la línea de máxima pendiente a cargaderos previstos. Se efectuaron tratamientos sobre pinares de repoblación de *Pinus sylvestris*, en cota superior a los 1.600 m y/o mezclas con *Pinus nigra*. De este modo en los rodales tratados se produjo la regeneración de distintas especies, entre ellas las encinas. Sin embargo, lo más frecuente es que se produzca en la mayoría de los casos la entrada oportunista de *Adenocarpus decorticans*, que puebla el espacio abierto a la luz con semillas que han estado latentes en el banco de semillas más de veinte años. En cuanto a la especie principal, el género *Pinus*, a pesar de la alta dispersión de semillas de la especie, la germinación de algunas semillas, el reclutamiento de nuevos pinos es nulo, como consecuencia de la xericidad estival a la que no suelen sobrevivir. Esta situación no garantiza el futuro del pinar naturalizado, con proyección a masas subespontáneas del género *Pinus*. Hemos comprobado la regeneración de encinas, la cual se ve mermada como consecuencia de la acumulación de biomasa triturada en la terraza que se corta por completo. La regeneración en estas condiciones con *Quercus* y otras especies se produce de forma desigual e incluso no se produce agravado también en el resto por el efecto de la hervorboría.

En estos ambientes áridos mediterráneos, a causa de las altas temperaturas los restos de biomasa acumulados en calles se secan y los descomponedores reducen su actividad, retardan la descomposición y no son aprovechados por los árboles BLANCO et al. (2011).

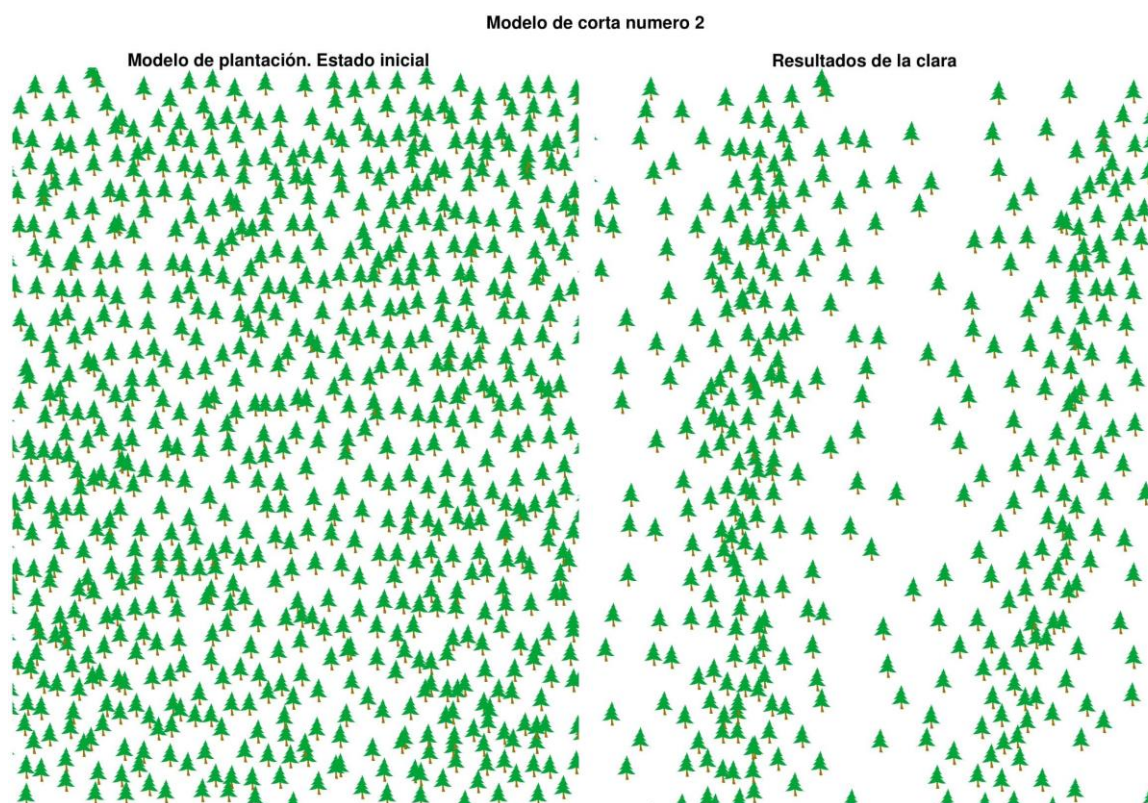


Figura 7. Modelo de plantación en terrazas y modelo de corta 2. Fuente: Imitación simulada de corta real, elaboración propia.

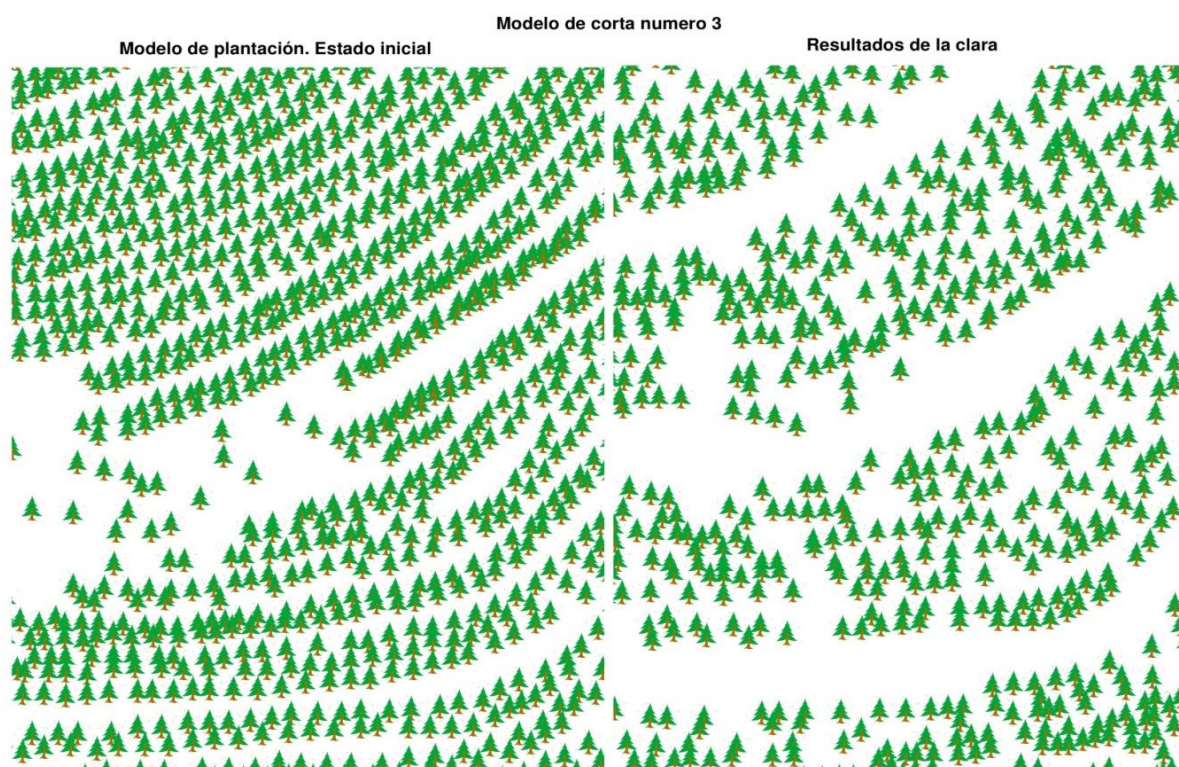


Figura 8. Modelo de plantación en terrazas y modelo de corta en terrazas 3. Fuente: Imitación simulada de corta real, elaboración propia.

El segundo modelo de corta se realizó con procesadora de forma sistemática sin señalamiento previo por calles en zigzag cada 30 metros, con cuatro metros de anchura aproximadamente, siguiendo las líneas de máxima pendiente. La clara resultante supone una corta de aproximadamente entre el 40 y el 50 % de los árboles. El inconveniente de este modelo es que no se produce una corta homogénea y la masa se artificializa más aún (Figura 7). La entrada de luz tampoco se produce de forma homogénea. En pendientes superiores al 30 %, la procesadora no llega a los árboles del centro entre calles, por lo que la regeneración tampoco se produce de forma generalizada.

En el modelo (3) de actuación se ha cortado una terraza completa de cada cuatro y en el resto de terrazas se cortaron uno de cada tres árboles (Figura 8), efectuándose así una clara selectiva, eliminando piés débiles, dominados o decaídos. De esta forma, la masa se mejora al quedar sólo en torno al 40% de los árboles y todos los árboles porvenir. Las terrazas que se cortaron al completo permitieron la saca de la madera. El modelo de corta es similar al modelo 1, así como la entrada de luz con algunas diferencias. La primera estaría relacionada con la mayor entrada de luz que permite la entrada de nuevas especies.

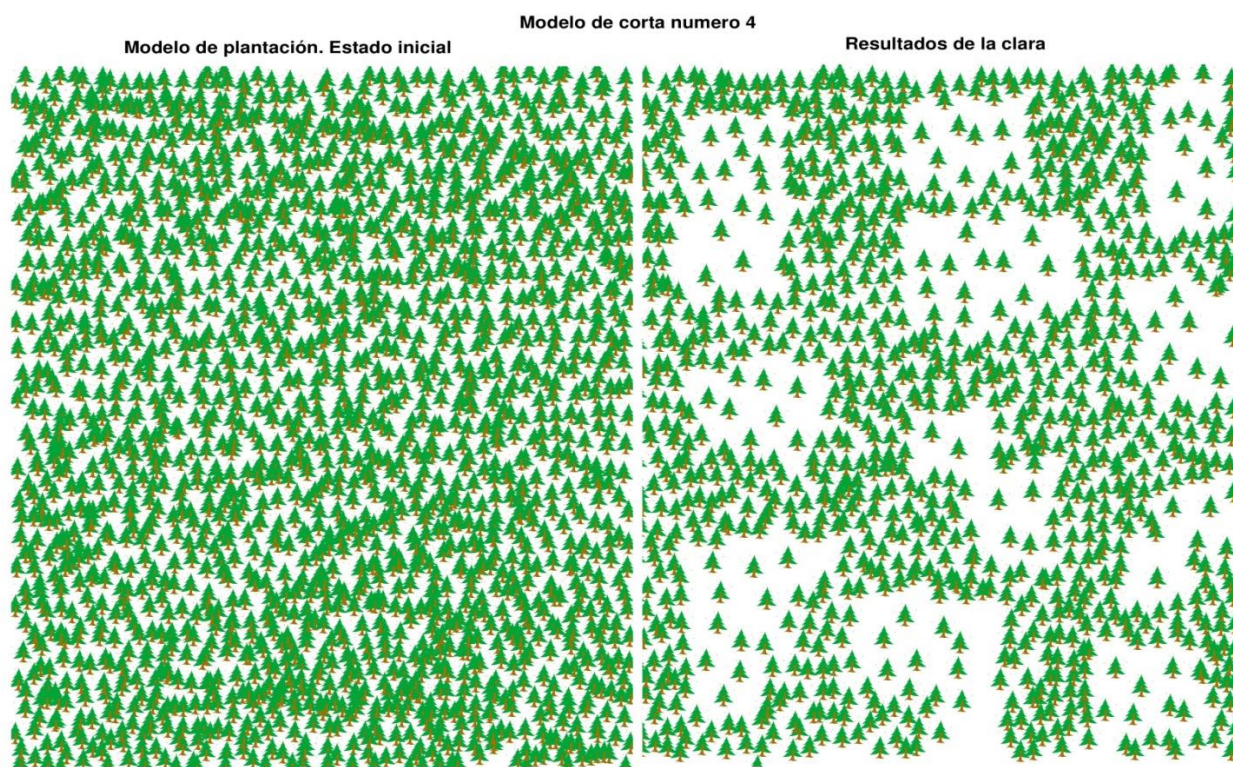


Figura 9. Modelo de plantación en terrazas y modelo de corta en terrazas. Fuente: Imitación simulada de corta real, elaboración propia.

En el modelo 4 se ha intervenido sobre un pinar de repoblación manual sin terrazas y la elección del tipo de corta ha sido mediante bosquetes dejando un 10% de los árboles, todos porvenir. Mediante esta perturbación, se ha creado un bosque heterogéneo con una gran entrada de luz en los rodales claros (Figura 9). En próximas intervenciones se prevé que se vaya completando la apertura del dosel y la naturalización total del rodal.



Figura 10. Tratamiento efectuado en 2021, siguiendo el modelo 2, se aprecia la acumulación de la biomasa a eliminar en terraza.

Los tratamientos desarrollados en Sierra Nevada en los últimos años han estado vinculados a los estudios previos desarrollados a partir de la Ordenación y los datos contenidos en el inventario de la misma. Como ejemplo, hemos recogido los datos de algunos de los rodales tratados pertenecientes al municipio de Nevada (Tabla 2). En la misma se muestran el número de pies por hectárea resultantes tras la primera actuación. La experiencia adquirida tras la ejecución de numerosas claras en el Parque Nacional de Sierra Nevada, nos permite considerar la conveniencia de cumplir con lo que propone la ordenación en cuanto al porcentaje de biomasa a extraer, así como el modelo de clara más adecuado. Una actuación adecuada con una puesta en luz mediante claras del 40-50 % de extracción de árboles en densidades de unos 1.200 pies/ha y sobre todo una buena distribución, permiten la entrada de luz adecuada para estos ambientes, evitando así que los vendavales y las nieves dañen el resto de pies resultantes, además de evitar la entrada de especies no deseadas con *Adenocarpus decorticans*. A pesar de haber recibido algunos clareos, se trata de masas aún muy densas con más de 1.200 pies/ha y una elevada esbeltez, por lo que son posibles daños posteriores a las claras por nevadas o viento propios de estos ambientes, sobre todo si se realizan con porcentajes elevados. Principalmente en aquellas masas que muestran una elevada esbeltez. Otro aspecto a tener en cuenta a la hora de establecer un criterio para la corta, es el señalamiento previo de los pies porvenir, aquellos pies dominantes, de amplia y proporcionada copa que permita abundante fructificación, los que presenten un fuste grueso o índice bajo de esbeltez, que permita resistencia al viento y sin deformaciones SERRADA (2011).

Tabla 2. Resumen de inventario de varios rodales tratados en el Monte Chaparral de Nevada, Sierra Nevada. Fuente: Ordenación 2013.

Rodaes con aprovechamiento principal de biomasa												
Municipio Nevada	Rodal	Sup. (ha)	Nº pies/ha	Vol. (m ³ /ha)	Biomasa (tm/ha)	AB (m ² /ha)	Esbeltez	Intensidad de clara (%)	Pies/ha a extraer	Masa final en pie (pies/ha)	Vol. m ³ a extraer	Biomasa tm a extraer
Chaparral de Nevada. Consorciado/Conveniado Ayuntamiento	15S1 ^B 20	28	1268	108	91	25	56	37	467	801	40	1.053
	15S1 ^B 21	24	1393	93	79	23	56	38	535	858	35	836
	15S1 ^B 22	48	1400	87	77	23	58	38	539	861	33	1.968
	15S1 ^B 31	72	1252	67	66	20	57	37	469	783	25	2.078
	15S1 ^F 57	25	1208	92	79	22	56	37	450	765	34	1.223
	15S1 ^F 58	33	1368	105	89	25	56	38	515	852	39	958
	15S1 ^F 59	26	1391	103	88	25	56	39	541	850	40	1.095

4.2. Respuesta de la vegetación

En el espacio ocupado por las calles donde se acumula la biomasa no permite la regeneración de ninguna otra especie. En este caso, se halla una reacción bien diferente según se trate de *P. nigra* o *P. sylvestris*, y en función de la proximidad de otras especies como las quercíneas. Ante la apertura del dosel vegetal a la luz, se produce el reclutamiento de un tipo u otro, a causa tanto de la germinación de las especies del banco de semillas o la dispersión producida por aves. La presencia de quercíneas es mínima o nula; *Adenocarpus decorticans* actúa como oportunista y se observa escasa regeneración de *Pinus sylvestris* (caso del Chaparral de Laroles). En ambos casos, la eliminación del denominado residuo vegetal procedente de ramas y copas se realiza con desbrozadora de cadenas o martillos, sobre material acordonado que previamente va acumulando la procesadora en las calles. El inconveniente de este sistema es la gran acumulación de materia en la que incluso hay restos de madera gruesos, que tarda en incorporarse al suelo demasiado tiempo.

Hemos observado la entrada de encinas, una gran regeneración que se ve mermada como consecuencia de la acumulación de biomasa triturada en la terraza que se corta por completo, por lo que la regeneración en estas con *Quercus* y otras especies se produce de forma desigual e incluso no se produce. En este modelo de tratamiento, cuando se realiza sobre pinares de *Pinus sylvestris* y *uncinata* en cotas altas (1.800-2.200 m), el reclutamiento de *Quercus* no se produce por encontrarse demasiado lejos del banco de semillas. Con la apertura del dosel vegetal se produce la entrada del piornal serial dentro del piso bioclimático oromediterráneo (*Erinacea anthyllis*, *Genista versicolor* y *Cytisus galianoi*). Las zonas abiertas, como fajas auxiliares, cortafuegos, clareos y tratamientos selvícolas (Figura 11) donde las coníferas utilizadas en la repoblación fue el *P. Sylvestris*, la regeneración no se produce o son excepcionales las zonas en las que el reclutamiento de *P. sylvestris* se ha producido en las condiciones actuales.

Como queda patente, la gestión forestal basada en las claras supone la herramienta ideal para la adaptación al cambio climático en el Área del Mediterráneo. Asimismo, adquiere una relevante importancia el reclutamiento de nuevas especies que ocupen este espacio con el fin de conseguir la mayor resiliencia frente al cambio climático. Las especies y comunidades vegetales de montaña son especialmente sensibles al cambio climático ERSCHBAMER (2001), PAULI et al. (2011), en las regiones del Mediterráneo. En las zonas culmen de las montañas donde no existe posibilidad de ascender en altitud se prevén fuertes impactos al cambio climático. Las tendencias indican un

aumento de la vegetación arbustiva en cotas más altas, así se recoge en un estudio sobre Peñalara desarrollado por SANZ-ELORZA (2003). Como consecuencia de este incremento térmico, se han descrito desplazamientos altitudinales de la vegetación arbustiva en detrimento de la herbácea SANZ-ELORZA et al. 2003; GARCÍA-ROMERO et al. 2010). Aspecto este que se podría exportar a Sierra Nevada con especies de porte arbustivo o rastrero como *Juniperus sabina* (sabina rastrera) y *Juniperus communis* subsp. *nana* y subsp. *hemisphaerica* (enebro rastrero), además de otras especies como *Prunus spinosa* subsp. *ramburii* (endrino) y un matorral pulvinular con especies de tipo almohadillado como *Vella spinosa*, *Erinacea anthyllis*, y otras como *Genista versicolor*, *Bupleurum spinosum* y *Cytisus galianoi*. En el mismo sentido podría ocurrir con el arbolado, un aumento en altitud de la encina siempre que el espacio a ocupar se encuentre en unas condiciones óptimas.

5. Discusión

Según nuestros datos, la producción científica desarrollada a lo largo de al menos los últimos veinticinco años, relacionada con los efectos del cambio climático sobre las masas forestales, es numerosa y existe un amplio consenso de sus efectos negativos sobre los pinares del área mediterránea. Asimismo, en este mismo contexto, la gestión forestal basada en la silvicultura parece ser particularmente relevante para asegurar la viabilidad de las repoblaciones de pinos en la cuenca del Mediterráneo, debido a su amplia extensión ALLUE (1995), BRAVO (2007). En el escenario actual de cambio climático la gestión forestal basada en los tratamientos selvícolas, básicamente claras, se presenta como la herramienta ideal para la adaptación de los extensos pinares de repoblación desarrollados en el Parque Nacional de Sierra Nevada y una herramienta imprescindible para aumentar la biodiversidad con especies más resilientes frente al cambio climático, además de proporcionar bienes en forma de biomasa y maderas. Sin embargo, nuestros datos indican que la investigación y estudios sobre la gestión de las masas de pinos de repoblación de Sierra Nevada son escasos. Esta carencia de estudios podría sustituirse con la experiencia obtenida en los tratamientos selvícolas desarrollados a lo largo de numerosos años. En esta misma línea según SÁNCHEZ-SALGUERO y NAVARRO-CERRILLO (2015), las áreas repobladas son “*excelentes sistemas experimentales para entender la sensibilidad y la capacidad adaptativa al cambio climático de ecosistemas forestales españoles, ya que se trata de bosques con una variabilidad estructural y genética menor que los bosques naturales*”. Los pinares de repoblación sirven a los investigadores forestales como un experimento único HELAMA, et al. (2008). Asimismo y referido a los tratamientos desarrollados en los últimos años en el Parque Nacional de Sierra Nevada, aunque no cuentan con un catálogo completo y georreferenciado de las actuaciones que permita evaluar resultados de la gestión BONET et al. (2009) consideramos el seguimiento y la evaluación de los resultados a posteriori, suponen una fuente de información imprescindible y suponen un auténtico estudio o zona de experimentación de cara a la apuesta por nuevas claras futuras en el resto de los pinares, imprescindibles para llevar a los extensos pinares de repoblación a una situación óptima, elevando su biodiversidad y aumentando su capacidad de adaptación al cambio climático.



Figura 11. Enebral cubierto por pinar de *Pinus sylvestris* de repoblación en Sierra Nevada.

Otros estudios desarrollados en áreas próximas a Sierra Nevada, concretamente un estudio desarrollado por FERNÁNDEZ, et al. (2011), sobre los pinares de pino salgareño y *P. sylvestris* en la Sierra de Los Filabres viene a confirmar que el decaimiento de los pinares de repoblación del sur peninsular ocurren sin presencia de patógenos primarios directamente implicados. Asimismo sugieren que el estrés climático junto con la excesiva competencia por falta de tratamientos selvícolas, son los principales responsables de la pérdida de vigor, aumento de defoliación y el declive del crecimiento radial. La Sierra de los Filabres es zona culmen en los 1.900-2.000 metros de altitud mientras que en el Parque Nacional de Sierra Nevada los pinares de *Pinus sylvestris* se sitúan mayoritariamente en el rango de los 1.800-2.000 (2.500) m. para *Pinus uncinata*, por esta razón aquí no encuentran el límite xérico como en la Sierra de los Filabres. En Sierra Nevada y concretamente en la Alpujarra, por su posición geográfica, los efectos de las brisas frescas y húmedas que entran por los valles aportan un porcentaje de humedad, por esta razón hasta ahora el efecto de los episodios de sequías prolongadas a estas cotas no provocaron secas o fueron solo en árboles puntuales. No obstante en otras comarcas del Parque Nacional de Sierra Nevada los problemas de decaimiento sí suponen un serio problema, si bien el decaimiento no es perceptible a nivel de interpretación del paisaje, hemos comprobado la existencia acumulada de un alto porcentaje de árboles caídos una vez que mueren tras el ataque de patógenos.

A nivel internacional, el cambio climático está provocando procesos de decaimiento masivo tanto en quercíneas como sobre coníferas, Cedros del Líbano, BARNARD, (2018), *Cedrus Atlántica*, LINARES et al. (2012). A nivel nacional, pinares naturales de *P. halepensis* en Zaragoza CÁMARA, et al. (2018) y local, conocemos los casos de la Sierra de Baza, Sierra de los Filabres, Marquesado, la Alpujarra en Sierra Nevada, etc... En nuestro entorno, los procesos de decaimiento y mortalidad de los bosques, además del cambio climático y/o sequías prolongadas en su caso, es sobrevenido por las condiciones de las masas forestales LLORET, et al. (2015). Por tanto, adquiere una gran relevancia para el futuro de los pinares del Parque Nacional de Sierra Nevada la puesta en práctica de una gestión forestal basada en la silvicultura para la adaptación al cambio climático, gestión forestal basada en las claras de los extensos pinares.

Otro de los aspectos que preocupan a la gestión forestal es el problema de los incendios forestales. En los últimos años, se ha producido un incremento de los episodios de sequías y con ella un incremento de la frecuencia de los incendios que están amenazando la persistencia de los ecosistemas mediterráneos actuales DÍAZ-DELGADO et al. (2002). Una forma de afrontar las perturbaciones y las limitaciones ambientales de los bosques es mediante la gestión forestal. Los incendios forestales son actualmente el problema más significativo de los bosques mediterráneos, agravado por las sequías prolongadas y actualmente por los efectos del cambio climático, sin embargo, frente a estas perturbaciones provocadas por la aridez, estos presentan una elevada resiliencia MALANSON & TRABVAUD (1987).

El cambio climático juega un papel fundamental entre las causas del decaimiento en la región mediterránea por el incremento de la aridez y una mayor recurrencia de episodios extremos de sequía DELLA-MARTA et al (2007). En el caso de Sierra Nevada, los episodios de decaimiento se han producido como consecuencia siempre de episodios prolongados de sequías. Por ejemplo, entre 2015 y 2016 se produjo la seca de cientos de pinos en la vertiente norte. Los pinos afectados fueron siempre los que se encontraban fuera de estación, por ejemplo *Pinus sylvestris* en mezcla con *Pinus nigra*, *Pinus nigra* en cotas más bajas cuando está en mezcla con *P. pinaster* fuera de estación, y *Pinus pinaster* en cotas más bajas a causa de la alta competencia. Pasados unos años, se produce una situación de aparente normalidad y no se aprecian árboles secos en el paisaje. Sin embargo, en el interior de la masa se encuentran los árboles que se secaron ya caídos y con ataques por patógenos.

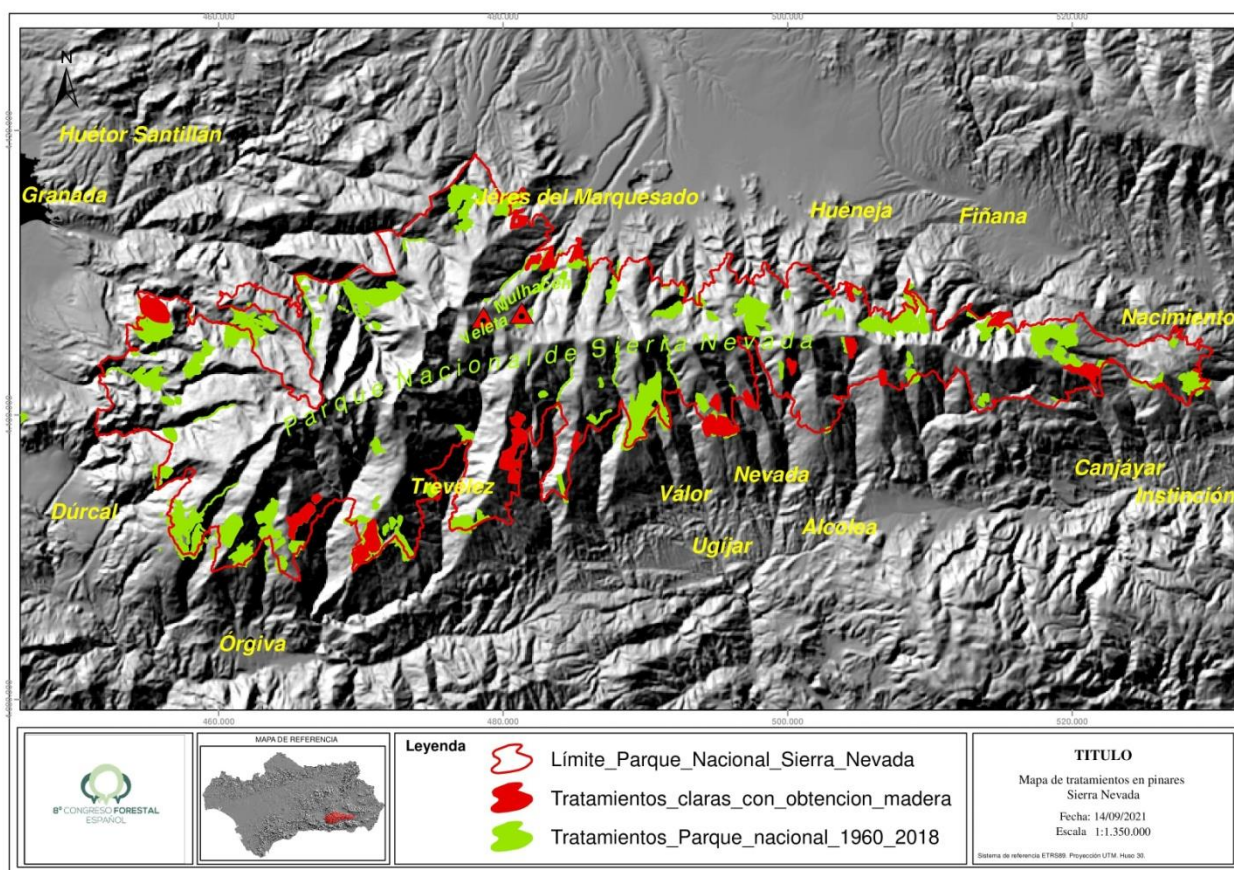


Figura 12. Mapa de distribución de tratamientos en el Parque Nacional de Sierra Nevada. Fuente: Mapa de sombras y Bonet et al. 2009.

Las respuestas más intuitivas y detectadas en diferentes lugares del planeta son el ascenso altitudinal de las plantas GOTTFRIED, et al. (1999). El *Pinus sylvestris*, una de las especies dominantes del área Mediterránea tiene el área de distribución más meridional en Sierra Nevada. Por esta razón, es la especie más vulnerable frente al cambio climático. Teniendo en cuenta que el género *Pinus* tiene serias dificultades para regenerar en las zonas en que se encuentran las repoblaciones en el Parque Nacional de Sierra Nevada y que *Quercus ilex* es capaz de reclutar nuevos individuos en las mismas condiciones, cabe esperar un aumento en la dominancia de *Q. ilex* durante las próximas décadas. A largo plazo sería capaz de sustituir las zonas actualmente ocupadas por *Pinus sylvestris* por lo que se prevé que se produzca un cambio en la estructura de las masas con un dominio futuro a favor de *Quercus ilex* MATÍAS et al. (2015).

Los tratamientos selvícolas basados en claras siempre muestran los mismos resultados: la entrada de luz supone una nueva situación desde el punto de vista de la perturbación y del banco de semillas. Se incorporan al suelo semillas a partir del banco aéreo MARAÑÓN, (2001), y este banco resulta persistente a largo plazo, al que habría que sumar la dispersión llevada a cabo por aves como sería el clásico caso de la bellota dispersada por arrendajos BOSSEMA (1979), PONS Y PAUSAS (2007), GÓMEZ (2003), PULIDO Y DÍAZ (2005).



Figura 13. Seca y decaimiento de *Pinus sylvestris* en el parque nacional de Sierra Nevada.

La gestión forestal apropiada para los pinares a los que nos referimos no sería una silvicultura de conservación de procesos ecológicos, ni una gestión forestal próxima a la naturaleza *sensu stricto* como proponen actualmente las corrientes selvícolas asociadas a la conservación y al cambio climático. Por tratarse de pinares situados fuera del límite natural actual del árbol, a partir de la experiencia obtenida y conociendo los resultados de la gestión forestal durante estos años, nos permite proponer una gestión similar a la realizada con algunos cambios. En este sentido, para próximas actuaciones se propone, donde sea posible, la saca completa de la biomasa (fustes y ramas) ante la imposibilidad de su eliminación en una distribución dispersa o mediante astillado. Completar los trabajos con la eliminación parcial de los residuos forestales, dejando de forma aleatoria sin eliminar algunas copas y ramas dispersas por el rodal. El apeo de algunos árboles al terminar la actuación que quedarían sobre el suelo o incluso engarbados. Los árboles apeados y la biomasa no eliminada completarían la función ecológica de la perturbación producida.

En los últimos años los episodios de decaimiento en los pinares del Parque Nacional de Sierra Nevada afectaron a zonas muy concretas como El Marquesado del Cenete (Granada), y sólo a pinares de repoblación situados fuera de estación (Figura 13). Los datos obtenidos en las zonas de estudio muestran para el año 2021 una alta defoliación generalizada en los pinares del interior del Parque Nacional de Sierra Nevada (Figura 14). La mayor defoliación se produce en aquellas zonas que presentan mayores densidades y por tanto mayor competencia. En el caso de las zonas tratadas, la defoliación está muy por debajo de los niveles obtenidos para el resto de los pinares, lo que indicaría que en las mismas condiciones y con menor competencia el decaimiento se reduce de forma considerable. Considerando que los pinares de Sierra Nevada están situados en el límite más meridional de su área de distribución, en el caso de los pinares de la media-alta montaña nevadense poseen actualmente una buena aclimatación. No obstante, en el contexto actual en el que el cambio climático es un hecho “inequívoco” que la actividad humana ha calentado la atmósfera, el océano y la tierra” 5º INFORME IPCC (2014), adquiere especial importancia la apuesta por la gestión forestal sostenible desarrollando una silvicultura adaptada al cambio climático.



Figura 14. Defoliación producida en el verano de 2021.

Finalmente, si consideramos que el periodo de repoblación en el Parque Nacional de Sierra Nevada fue de 1956 a 1976 y los tratamientos analizados se desarrollaron desde el año 2000 a 2017, el promedio de edad de los pinares tratados es de 42 años. De este modo, considerando que la edad de madurez de los pinares de *Pinus sylvestris* se produce a los 20 años MONTERO et al. (2001), los pinares de repoblación del parque de Sierra Nevada se encuentran en condiciones de regeneración. Sin embargo, según el 4º Inventario Forestal Nacional, (2008) el 54 % de las parcelas no presentaban reclutamiento GALIANO et al. (2010), VILÁ-CABRERA et al. (2011), GALIANO et al. (2013, VILÀ-CABRERA et al. (2013). Así, podemos decir que existe una gran incertidumbre en cuanto a la conformación futura de pinares de *Pinus sylvestris* naturalizados o subespontáneos en Sierra Nevada. Esto podría ser debido a la gran dependencia del pino silvestre a la disponibilidad de luz y las condiciones del clima, por lo que la carencia de reclutamiento podría atribuirse a la aridez, más que al cierre del dosel o abandono de la gestión en este caso. Este aspecto explicaría por qué las aperturas del dosel provocadas mediante claras no proporcionan las condiciones adecuadas para su regeneración y sí proporcionan las condiciones para la entrada de *Q. ilex*. Según nuestros datos el

reclutamiento de *Pinus sylvestris* solo se produce en condiciones muy concretas, queda relegado a zonas con unas condiciones de humedad suficiente. Concretamente en umbrías, barrancos y zonas sombreadas o acumulación de maderas en cortafuegos (Figura 15) que mantienen la humedad suficiente hasta el punto de hacer viable la regeneración. En el caso de los tratamientos realizados en Sierra Nevada, independientemente del año en que se llevaron a cabo los tratamientos, tan sólo en un 27% hemos encontrado reclutamiento de *Pinus sylvestris* viables actualmente. Sin embargo *Quercus ilex* se presenta en el 72 % de los rodales.



Figura 15. Detalle de regeneración de *Pinus sylvestris* en condiciones especiales sobre troncos abandonados en cortafuegos.



Figura 16. Detalle de una calle en la que se ha eliminado una línea de árboles.

La presencia de regeneración en el interior de los pinares de Sierra Nevada, ya sea en los rodales tratados o no, resulta esencial para el futuro de los bosques del Parque Nacional. En este sentido, se ha constatado la entrada y/o regeneración de distintas especies en nuestras zonas de estudio. En primer lugar, en buena parte de las claras realizadas constatamos la regeneración de encinas, solo en algunas de ellas también hemos encontrado quejigos. En un alto % se ha producido la regeneración de *Adenocarpus decorticans* (figura 16).

Conclusiones

Se prevé que el aumento esperado de las temperaturas a causa del cambio climático puede provocar en Sierra Nevada la desaparición progresiva por decaimiento de los pinares de montaña. Pasando por una transición de los modelos fitoclimáticos mediterránea meseteña del subtipo IV(VI)₁ y subesteparia mediterránea de zonas de alta montaña no culminales, IV(VII) hacia introgresión de la variante mediterránea (IV). Siguiendo a Fernández Cancio et al. (2011), la introgresión de variantes mediterráneas (IV) o estépicas (VII) en el subtipo genuino análogo IV(VII), quizá todavía no bien definido y propio, sobre todo, de la alta montaña mediterránea que, no es compatible con masas continuas aunque quizá si con formaciones abiertas de pies aislados.

La gestión forestal basada en tratamientos selvícolas mediante claras podría paliar los problemas de decaimiento de los pinares de la media montaña de Sierra Nevada. Con ello se podrían lograr varios objetivos importantes. Por un lado, el mantenimiento de las masas aclaradas, la recuperación de la vegetación potencial, aumentando así la biodiversidad y resiliencia, la puesta en valor del recurso maderero, la protección contra los incendios forestales, etc...

La apuesta por varios modelos de tratamiento dentro de la gestión forestal en función de la masa de que se trate supone ya auténticos modelos de estudio para la continuidad de una gestión forestal para la adaptación al cambio climático.

La necesidad de que el Parque de Sierra Nevada cuente con un plan de actuación sobre los pinares del Parque Nacional. Ello supondría la puesta en valor del recurso biomasa que en estas condiciones puede desaparecer a causa del decaimiento y los incendios. Se trataría de anticiparse a la perturbación provocada por el cambio climático, realizando las perturbaciones de forma artificial con aprovechamiento del recurso biomasa, dinamizando la economía y llevando a los extensos pinares a bosques naturalizados, mixtos y con matorral, recuperando su biodiversidad y haciéndolos más resilientes frente al cambio climático, o simplemente a episodios de sequías prolongadas.

7. Agradecimientos

A Javier Navarro Gómez-Menor por compartir su tiempo en el desarrollo y seguimiento de los tratamientos desarrollados en Sierra Nevada y por sus consejos en la elaboración de este manuscrito.

8. Bibliografía

(ALLUÉ, J.L.); (DE MIGUEL Y DEL ANGEL, J.); (GRAU, J.M.); 1990. Atlas Fitoclimático de España. Taxonomías. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Pág. 9-38, 198-220. Madrid

(ALLUÉ, J.L.); 1995. El cambio climático y los montes españoles. Seminario sobre el Deterioro de los Montes y Cambio Climático. Rev. Cuadernos de la Soc. Esp. Cienc. For. Pág. 35-64

(BARNARD, A.); 2018. *The New York Times*. El cambio climático está matando a los cedros del Líbano.

(BLANCO, J.A.); (IMBERT, J.B.);& (CASTILLO, F.J.); 2011. Thinning affects *Pinus sylvestris* needle decomposition rates and chemistry differently depending on site conditions. *Biogem*. 106:397-414

(BONET, F.J.); (VILLEGAS, I.); (NAVARRO, J.); Y (ZAMORA, R.); 2009. Breve historia de la gestión de los pinares de repoblación en Sierra Nevada. Una aproximación desde la ecología de la regeneración. 5º Congreso Forestal Español. *Soc. Esp. Cienc. For.* pp. 1-13. Junta de Castilla y León.

(BRAVO, F.); (Coord). 2007 El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación Gas Natural. Pág. 1-64. Ponferrada (León)

(BOSSEMA, I.); 1979, Jays and Oaks: un estudio ecoetológico de una simbiosis. Jays and oaks: and eco-ethological study of a simbiosis. *Behaviour* 70:1-117

(CÁMARA, A.); (JORDÁN, F.); Y (BRAZA, C.); 2018. Determinación de las causas de decaimiento en las masas naturales de pinares de *Pinus halepensis* Mill. en la provincia de Zaragoza. *Secforestales.org*. seis pp.

(DELLA-MARTA, P.M.); (HAYLOCK, M.R.); (LUTERBACHER, J.); (WANNER, H.); 2007. Doubled length of western European summer heat waves since 1880. *Journal of Geophysical Research* 112. Pág. 1-11

(DÍAZ-DELGADO, R.); LLORET, F.); PONS, X.); TERRADAS, J.); 2002. Satellite evidence of decreasing resilience in Mediterranean plant communities after recurrent wildfires. *Ecology* 83:2293-2303.

(ERSHBAMER, B.); 2001 Responses of some Austrian glacier foreland plants to experimentally changed microclimatic condition. En: WALTHER GR, BURGA CA, EDWARDS PJ, editors. Fingerprints of climate change. Adapted behavior and shifting species range. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. Pp. 263-279.

(ESCUDERO, A.); (GARCÍA-CAMACHO, R.); (GARCÍA-FERNÁNDEZ, A.); (GIMÉNEZ-BENAVIDES, L.); (IRIONDO, J.M.); (LARA-ROMERO, C.); (MORENTE, J.); (PESCADOR, D.S.); 2015. Vulnerabilidad al cambio climático de las plantas de alta montaña mediterránea. Cap. 4. Herrero A & Zavala MA); 2015. Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España. Documento de Síntesis. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid

(FERNÁNDEZ, A.); (NAVARRO, R.); (SÁNCHEZ-SALGUERO, R.); (FERNÁNDEZ, R.);, & (MANRIQUE, E.); 2011. Viabilidad fitoclimática de las repoblaciones de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) en la Sierra de los Filabres (Almería). *Ecosistemas*, 20 (1) pág. 124-144.

(GALIANO, L.); (MARTÍNEZ-VILALTA, J.); (LLORET, F.); 2010. Drought-induced multifactor decline of Scots pine in the Pyrenees and potential vegetation change by the expansion of co-occurring oak species. *Ecosystems* 13, pág. 978-991

(GALIANO, L.); (MARTÍNEZ-VILALTA, J.); (EUGENIO, M.); (DE LA CERDA, I.G.); (LLORET, F.); 2013 Seedling emergence and growth of *Quercus* spp. following severe drought effects on a *Pinus sylvestris* canopy. *Journal of Vegetation Science* 24., pág. 580-588

(GARCÍA-ROMERO, A.); (MUÑOZ, J.); (ANDRÉS, N.); (PALACIOS, D.); 2010. Relationship between climate change and vegetation distribution in the Mediterranean mountains: Manzanares Head valley, Sierra de Guadarrama (Central Spain). *Climatic Change* 100, pág. 645-666.

(GÓMEZ, J.M.); 2003, Spatial patterns in long-distance dispersal of *Quercus ilex* acorns by jays in a heterogeneous landscape *Ecography* 26 pág. 573-584

(GOTTFRIED, M.); (PAULI, H.); (REITER C.); & (GRABHERR, G.); 1999. A fine-scaled predictive model for changes in species distribution patterns of high mountain plants induced by climate warming. *Diversity and Distributions* 5, pág. 241-251

(HELAMA, S.); (SALMINEN, H.); (TIMONEN, M.) *et al.* 2008. Dendroclimatological analysis of seeded and thinned Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands at the coniferous timberline. *New Forests* 35, pág. 267-284.

(JUNTA DE ANDALUCÍA); 1989. Plan Forestal Andaluz, 1989, Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura. Sevilla

(JUNTA DE ANDALUCÍA. CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO). 2013. Proyecto de Ordenación de Montes de la Provincia de Granada

(LINARES, J. C.); (PAZO, R.); (TAÍQUI, L.); (CAMARERO, J.J.); (OCHOA, V.); (LECHUGA, V.); (SECO, J.I.); (VIÑEGLA, B.); (SANGÜESA-BARREDA, G.); (GILARTE, P.); (MERINO, J.); (CARREIRA, J.A.); 2012. Efectos de las tendencias climáticas y la degradación del hábitat sobre el decaimiento de los cedrales (*Cedrus atlántica*) del norte de Marruecos. *Ecosistemas* (21(3), pág. 7-14.

(LLORET, F.); (ESCUADERO, A.); (IRIONDO, J.M.); (MARTÍNEZ-VILALTA, J.); (VALLADARES, F.); 2015. Mecanismos de estabilización y resiliencia de la vegetación frente a eventos climáticos extremos Cap. 31. Herrero A & Zavala MA (2015). Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España. Documento de Síntesis. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.

(MALANSON, G. P.); (TRABAUD, L.); 1987, Ordination analysis of the components of resilience of *Quercus coccífera* garrigue. *Ecology* 68:463-472

(MARAÑÓN, T.); 2001 Ecología del banco de semillas y dinámica de comunidades mediterráneas. En R. ZAMORA RODRÍGUEZ Y F.I. PUGNAIRE DE LA IRAOLA (Eds.), *Ecosistemas Mediterráneos. Análisis funcional*. pp. 153-181. Madrid: CSIC. AEET.

(MATÍAS, L.); (ZAMORA, R., CASTRO, J.); 2015 Efectos de la variación en el régimen de precipitación sobre la regeneración del bosque montano mediterráneo. En Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España: Cap. 15 Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente Secretaría General Técnica pág. 215-224

(MESA, M.A.) 2016. Geografía y política forestal. Análisis general de la gestión de los montes en la provincia de Granada (Tesis Doctoral). Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Universidad de Granada. Pág. 621-632. Granada.

(MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA); (MITECO). 2008. Cuarto Inventario Forestal Nacional (IFN4).

(MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA); 2014. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, IPCC) 5º Informe 2014

(MONTERO, G.), (ROJO, A.); (ÁLVAREZ, M. F.); Y (DEL RÍO, M.); 2001. Aspectos selvícolas y económicos de los pinares de *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. *Estudios Agrosociales y Pesqueros*, n.º 193, 2001 (pp. 27-56).

(PAULI, H.); (GOTTFRIED, M.); (GRABHERR, G.); 2011. High summits of the Alps in a changing climate. The oldest observation series on high mountain plant diversity in Europe. En: WALTHER GR, BUGA CA, EDWARDS PJ, editors. Fingerprint of climate change. Adapted behavior and shifting species range. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. Pp. 139-249

(PONS, J.); & (PAUSAS, J.G.); 2007 Acorn dispersal estimated by radio-tracking. Dispersión de bellotas estimada por seguimiento de radio tracking. *Oecología, volumen 153*, pág. 903–911

(PULIDO F.J.); (DÍAZ, M.); 2005 Regeneration of a Mediterranean oak: A whole-cycle approach, *Écoscience*, 12:1, pág. 92-102.

(SÁNCHEZ-SALGUERO, R.); (NAVARRO-CERRILLO, R.M.); 2015. La sequía y la gestión histórica como factores del decaimiento forestal en poblaciones de *Pinus sylvestris* y *P. nigra* en el sur peninsular. En HERRERA, A. ZAVALA, M.A., Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. pp.271-282.

(SANZ-ELORZA, M.); (DANA, E.D.); (GONZÁLEZ, A.); (SOBRINO, E.); 2003 Changes in the High-mountain Vegetation of the Central Iberian Peninsula as a Probable Sign of Global Warming, *Annals of Botany*, Volume 92, Issue 2, August 2003, Pages 273–280.

(SERRADA, R.); 2011. Apuntes de Selvicultura. Fundación Conde de Salazar Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Madrid.

(VALLE, F.); (ALGARRA, J.A.); (ARROJO, E.); (ASENSI, A.); (CABELLO, J.); (CANO, E.); (TORRES J.A.); 2003. En Valle Tendero (Ed.), Mapa de Series de Vegetación de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.

(VILÀ-CABRERA, A.); (MARTÍNEZ-VILALTA J.); (VAYREDA J.); (RETANA J.); 2011. Structural and climatic determinants of demographic rates of Scots pine forests across the Iberian Peninsula. *Ecological Applications* 21. pág. 1162-1172.

(VILÀ-CABRERA, A.); (MARTÍNEZ-VILALTA, J.); (GALIANO L.); (RETANA, J.); (2013) Patterns of forest decline and regeneration across Scots pine populations. *Ecosystems* 16. Pág.323-335.