



FACULTAD DE CIENCIAS

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**Sistema de indicadores de adaptación forestal al cambio climático y
su aplicación en el Pinar de Valsaín (Sierra de Guadarrama,
Segovia)**

Autor: Rossana Andreina Mesa García
Tutoras: Paloma Ruiz Benito
Patricia González Díaz

2018



FACULTAD DE CIENCIAS

-
GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES
TRABAJO DE FIN DE GRADO

**Sistema de indicadores de adaptación forestal al cambio climático y su
aplicación en el Pinar de Valsaín (Sierra de Guadarrama, Segovia)**

Tribunal de calificación:

(Firma)

Presidente: _____

(Firma)

Vocal 1º: _____

(Firma)

Vocal 2º: _____

Calificación: _____

Fecha: _____

2018

Segunda Página de Memoria del Trabajo Fin de Grado**Anexo V****INFORME PARA LA DEFENSA PÚBLICA DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO**

D^a Paloma Ruiz Benito y Patricia González Díaz, profesoras del Departamento de Ciencias de la Vida de la UAH, como tutoras del Trabajo de Fin de Grado en Ciencias Ambientales de D^a Rossana Andreina Mesa García titulado "*Sistema de indicadores de adaptación forestal al cambio climático y su aplicación en el Pinar de Valsaín (Sierra de Guadarrama, Segovia)*".

INFORMA: FAVORABLE

Que Rossana Andreina Mesa García ha realizado el Trabajo Fin de Grado mostrando una elevada constancia y capacidad de trabajo. La alumna se ha enfrentado al desarrollo de un trabajo en todas sus fases, alcanzando secuencialmente una mayor autonomía y mostrando una elevada dedicación tanto en el proceso de análisis como el de escritura y síntesis. Por todo ello, consideramos que este Trabajo Fin de Grado cumple con los requisitos para ser presentado por lo que emitimos un informe FAVORABLE para la defensa del mismo.

Alcalá de Henares 5 de septiembre de 2018

Firma del tutor



Fdo.: Paloma Ruiz Benito

Firma del cotutor



Fdo.: Patricia González Díaz

Índice

1. Introducción	3
1.1 Bosques y el cambio climático	3
1.2 Adaptación e indicadores ambientales	4
1.3 Objetivos	7
2. Materiales y métodos.....	8
2.1 Área de Estudio.....	8
2.2. Definición de indicadores de adaptación de bosques al cambio climático	9
3. Resultados.....	11
3.1. Generación de un sistema de indicadores de adaptación al cambio climático.....	11
3.2. Aplicación del sistema de indicadores al Pinar de Valsaín.....	12
4. Discusión	17
4.1. Sistema de indicadores del grado de adaptación boques al cambio climático	17
4.2. Adaptación al cambio climático en el Pinar de Valsaín	18
5. Conclusión.....	22
6. Bibliografía.....	23
Anexo I. Metodología para el desarrollo de indicadores en Valsaín.....	36

Resumen

Los bosques son los ecosistemas terrestres más extensos y proporcionan múltiples servicios que son claves para el bienestar humano. El cambio climático genera alteraciones que pueden desencadenar respuestas no lineales en los bosques. Por ello es importante la existencia de sistemas de indicadores, con algunos de alerta temprana, que permitan conocer la respuesta de los bosques al cambio climático y su grado de adaptación al mismo. Se han seleccionado indicadores de presión (temperatura, precipitación e incendios), estado forestal (crecimiento, defoliación, mortalidad, especies introducidas y amenazadas) y respuesta (instrumentos para amortiguar los efectos del cambio climático). El sistema teórico generado se ha aplicado al Pinar de Valsaín, los resultados muestran un aumento en la temperatura y la frecuencia de los periodos de sequía y una baja incidencia por incendios. Por otro lado, el pinar ha sufrido elevada variabilidad en el crecimiento, aumento de la defoliación y baja mortalidad. Además, el 37% del Pinar de Valsaín forman parte del Parque Nacional Sierra de Guadarrama y el 63% restante se encuentran dentro de la Zona Periférica de Protección. El sistema propuesto muestra la relación entre los aspectos del cambio climático y el estado de los bosques, por lo que pretende ser una herramienta complementaria a las medidas de gestión adaptativa forestal.

Abstract

Forests are one of the most extensive terrestrial ecosystems and provide multiple services that are key to human well-being. Climate change generates alterations that can trigger non-linear responses in forests. That is why it is important to have indicator systems with some early warnings, that will allow us to know the response of the forests to climate change and its degree of adaptation to it. Pressure indicators: temperature, precipitation, and fire; forest state indicators: growth, defoliation, mortality, introduced and threatened species; and response indicators: instruments to mitigate the effects of climate change, have been selected in this study. The generated theoretical system has been applied to the Valsaín's pine forest, the results show an increase in the temperature and frequency of drought periods and a low incidence of forest's fire. It also indicates that the pine forest has undergone high variability in growth, increased defoliation and low mortality rate. In addition, 37% of the Valsaín's pine forest is part of the

Sierra de Guadarrama National Park, and the remaining 63% is within the peripheral area of protection. The proposed system shows the relationship between the aspects of climate change and the state of the forests, so it is intended to be a complementary tool to the measures of adaptive forest management.

Palabras clave: Cambio climático, indicador ambiental, mitigación, lógica causal, sistema forestal, modelo PER, gestión forestal, climate change, forest adaptation, indicator system.

1. Introducción

1.1 Bosques y el cambio climático

Los bosques con un 30,6% del área total de la tierra, son los ecosistemas más extensos de la superficie emergida del planeta (Ruiz Pérez et al, 2007; FAO, 2010; 2015), proporcionan múltiples servicios que son claves para el bienestar del ser humano (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Proporcionan servicios de aprovisionamiento como la madera (Ojea et al, 2012), servicios de regulación como la regulación del ciclo hidrológico o la disminución de la desertificación (Pimentel et al, 1997; Byron & Arnold, 1999; Ruiz Pérez et al, 2007), de soporte como la productividad primaria y culturales como el recreo (Beer, et al, 2010; Zandersen & Tol, 2009). Además, desempeñan otras funciones que son importantes para el medio ambiente ya que tienen un papel esencial en la conservación de la diversidad biológica (Gamfeld et al, 2013).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en su Quinto Informe de Evaluación (IPCC, 2014) concluye que el cambio climático está ocurriendo y continuará en las próximas décadas. Por una parte, el cambio climático genera la alteración de patrones habituales de eventos extremos (aumento de la severidad de lluvias torrenciales, sequías y olas de calor) y por otra, el cambio progresivo de variables climáticas (modificación del régimen de precipitación o aumento de temperaturas, IPCC, 2014).

En bosques mediterráneos se prevé un aumento de las temperaturas acompañado de un descenso de las precipitaciones y un cambio en la estacionalidad (Christensen *et al*, 2007). Estas condiciones dan lugar a un incremento del estrés hídrico que afecta negativamente al crecimiento, la mortalidad y la productividad (Breshears *et al*, 2005; Adams *et al*, 2009; Sánchez-Salguero *et al*, 2012; Allen *et al*, 2015; Vericat Grau *et al*, 2013). Sin embargo, en condiciones de elevada humedad, este incremento de la temperatura generalmente tiene un efecto positivo en el crecimiento arbóreo ya que se ha relacionado con el efecto de fertilización de CO₂ (Vilà-Cabrera *et al*, 2011). Además estos cambios dan lugar al desplazamiento espacial de las condiciones climáticas favorables de las especies arbóreas, lo cual causa a su vez cambios en la distribución (Benito Garzón *et al*. 2008), dinámica de las especies (Zavala *et al*, 2015), en la composición funcional de los sistemas forestales (Vilà-Cabrera

et al, 2015, Ruiz-Benito *et al*, 2017) y en la fenología de varias especies arbóreas (Peñuelas *et al*, 2002).

Los bosques son ecosistemas claves para la gestión ante el cambio climático, por ello es importante la aplicación de medidas de adaptación y mitigación (IPCC, 2007, 2014). La adaptación es la capacidad de un sistema para ajustarse o hacer frente a los efectos del clima (Herrero & Zavala, 2015). En bosques la gestión adaptativa busca una mejor respuesta a través de tratamientos forestales, tales como el resalveo de montes, adecuación de turnos e intensidades de aprovechamiento y repoblación forestal (Gracia *et al*, 2005). La mitigación busca la reducción de los gases de efecto invernadero en la atmósfera a través de medidas gubernamentales (Herrero & Zavala, 2015). Ello hace que ambos sean complementarios y necesarios, para reducir las emisiones, limitar el calentamiento y sus consecuencias (García *et al*, 2015).

La península Ibérica se encuentra ubicada entre las zonas tropicales y templadas, estando climáticamente influenciada por el frente polar y las altas presiones del anticiclón de las Azores (De Castro *et al*, 2005). Si además se tiene en cuenta el relieve abrupto y variado de la península (Pirineos, Cordillera Cantábrica, Sierra Nevada, Sistema Central) se obtiene una zona con diversos gradientes climáticos altitudinales y efectos de barrera (Fernández-González *et al*, 2005). Todo ello da lugar a una elevada riqueza de flora que convierte la península en un punto caliente a nivel mundial que posee cerca de 8000 especies de distintas plantas vasculares (López González, 2006). Todo ello supone que un cambio en la climatología afectaría severamente los sistemas de la península, por lo que su estudio es crítico para asegurar la adaptación a largo plazo

1.2 Adaptación e indicadores ambientales

La lucha contra el cambio climático ha sido una constante que ha dado lugar a informes de evaluación que han concluido que la adaptación es la respuesta para minimizar los impactos que ocasiona. También ha favorecido compromisos de nivel internacional, europeo y nacional que han dado lugar marcos normativas de acción contra el cambio climático, p.ej. la Convención Marco sobre el Cambio

Climático (CMNUCC), el protocolo de Kioto, y el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (García *et al*, 2015).

La integración de la adaptación en la gestión forestal consiste en la aplicación de una serie de medidas que pretenden facilitar el ajuste de los sistemas a las cambiantes condiciones del clima y sus efectos, estas medidas se enmarcan en general en un contexto de gestión sostenible por la cual se puedan mantener los servicios ecosistémicos de los sistemas naturales en las nuevas condiciones climáticas. La “Estrategia Europea de Adaptación”, aprobada en 2003, es la referencia de la política de adaptación, entre sus objetivos se encuentra la promoción de acciones de adaptación y su integración en las políticas comunitarias europeas (Herrero & Zavala, 2015).

En la estrategia nacional se aprobó el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), el cual persigue la integración de la adaptación al cambio climático en la planificación de los distintos sectores y desarrollar los compromisos que se han adquirido en el contexto internacional de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El PNACC ha dado lugar a tres Programas de Trabajo de los cuales el segundo programa de trabajo (2PT) establece dos pilares (potenciación de la investigación y refuerzo de la coordinación entre las Administración General de Estado y las Comunidades Autónomas) a la hora de gestionar la respuesta al cambio climático y se estructuró en torno al establecimiento de un sistema de indicadores de impactos y adaptación. Para integrar la adaptación de en la normativa de biodiversidad y bosques se diseñaron instrumentos como el Plan Estratégico del Patrimonio Natural y la biodiversidad y el Plan Forestal Español. El primero considera los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y su vulnerabilidad, además de la coherencia entre las medidas de adaptación y conservación (PEPNB, 2011), por otro lado el plan forestal regula la planificación forestal española de forma que entre sus objetivos se encuentra la mejora de la adaptación de las masas forestales españolas a las nuevas condiciones climáticas (Herrero & Zavala, 2015).

Un indicador ambiental es *“una variable, parámetro o estimación ambiental que sugiere, proporciona información agregada y sintética sobre un fenómeno, medio*

ambiente o área más allá de su representación propia” (García *et al*, 1999; OECD, 2003). Los indicadores ambientales abordan problemas ambientales socialmente relevantes, y en general están dirigidos a un público amplio y no necesariamente experto (Royuela, 2001). En muchas ocasiones los indicadores tienen como objetivo cuantificar la información relevante, comunicar a la sociedad una situación y orientar en los procesos de toma de decisiones (Royuela, 2001; Quiroga Martínez, 2009). Para que un indicador proporcione información de carácter relevante debe ser científicamente válidos y sencillos, ser relevante a escala nacional o aplicable escalas regionales de importancia nacional (OECD, 2003).

Los indicadores de medioambiente constituyen una herramienta para realizar el seguimiento, la gestión y la evaluación de diversos aspectos ambientales. Desde el año 2004 los indicadores se aplican en diferentes informes nacionales (Perfil ambiental de España, Cachón de Mesa, 2016; Informe anual de indicadores, MAPAMA, 2016; Informe de evaluación sobre impactos, vulnerabilidad y adaptación frente a cambio climático, Herrero, Zavala, 2015; informes de seguimiento, MAPAMA, 2017b) con el objetivo de presentar información sobre las principales áreas del medio ambiente y su relación con los sectores productivos y los estratégicos para el ministerio (sector de la agricultura, alimentación y medioambiente). En estos casos los indicadores se encargan de dar a conocer los progresos en el cumplimiento de los acuerdos internacionales, además de abordar los principales retos y medidas de acción que deben de tenerse en cuenta para preservar el patrimonio nacional

Los sistemas de indicadores surgen de la necesidad de ordenar y dar un sentido más amplio a la información proporcionada por los indicadores, permiten establecer conexiones entre ellos y dar funcionalidad y un significado al conjunto (Manteiga, 2000). Por lo que al definir un indicador es necesario establecer el ámbito en el que se desarrolla el mismo (Quiroga, 2009), para ello se diseñan distintos aspectos que permiten enmarcar los indicadores: i) según el tema de los problemas ambientales identificados y analizados; ii) en función de la escala a la que se aplica (regional, local, global); iii) según los sectores en los que el recurso se considera un factor de producción; iv) en función de las unidades territoriales con características ecológicas distintivas e interrelacionadas; v)

siguiendo la lógica causal en donde actividades humanas ejercen presión en el medio (Polanco, 2006).

Dentro de la lógica causal, uno de los modelos que más destaca y que he utilizado en este Trabajo de Fin de Grado, es el Modelo Presión-Estado-Respuesta o Modelo PER. En el modelo PER se define la relación entre los indicadores de presión (e.g. describen la presión de agentes externos sobre el sistema forestal), de estado (i.e. definen la condición actual del sistema forestal), y de respuesta (i.e. muestran cómo se responde a los problemas y cambios en la calidad del medioambiente; OECD, 2003, Figura 1).



Figura 1. Esquema conceptual del modelo de Presión-Estado-Respuesta. Este modelo muestra como la alteración de los eventos extremos y las fluctuaciones climáticas generan impactos en el entorno y los ciclos de los bosques alterando su estado inicial. Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de OECD (2003).

1.3 Objetivos

El objetivo central de mi Trabajo de Fin de Grado es preparar un sistema de indicadores de adaptación de bosques al cambio climático. Además, aplicaré dicho sistema de indicadores a la superficie forestal del Pinar de Valsaín (ubicado en la Sierra de Guadarrama) para identificar si, en su estado actual, la masa forestal puede adaptarse a las consecuencias potenciales del cambio climático.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de Estudio

El Pinar de Valsaín se encuentra en la vertiente norte de la Sierra de Guadarrama (Figura 2), en el término municipal del Real Sitio de San Ildefonso-La Granja (Segovia). El Monte de Valsaín tiene una superficie total de 10.600 ha, el Monte Pinar ocupa una superficie de 7.600 ha. La altitud varía desde los 1.100 m s.n.m. en la granja de San Ildefonso hasta los 2.125 m s.n.m. en los Siete Picos (Cabrera, 2010). Su gestión se encuentra regulada por el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Sierra de Guadarrama (1941-2010).

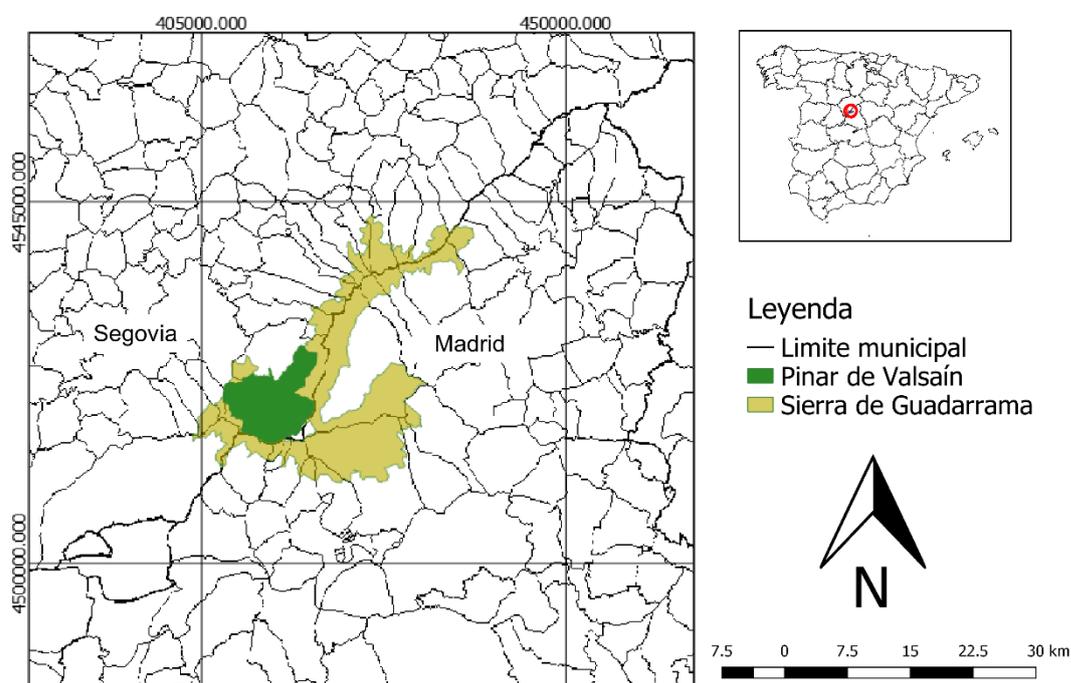


Figura 2. Delimitación del Pinar de Valsaín. Fuente: Elaboración propia con capas del CNIG (2015), EEA (2018a).

En el valle de Valsaín la precipitación anual varía desde los 800 mm en las zonas bajas, hasta los 1300 mm en las zonas más altas (Cabrera, 2010). El Monte de Valsaín se asienta sobre rocas ígneas y metamórficas (González-Huerta, 2015). La variabilidad del medio físico del monte genera diversos ambientes que proporcionan hábitats a una gran variedad de flora y fauna. El Monte de Valsaín se divide en tres zonas en función de las condiciones climáticas y litológicas: (i) Zonas suprarbóreas (altitudes > 1.800 m.s.n.m. con fuertes pendientes e intenso frío invernal); (ii) Zonas arbóreas de pinar (altitud < 1.800 m.s.n.m., frío menos intenso y suelos de granito y gneis); y (iii) Pinar o rebollar en llanura o sin

vegetación arbórea (altitud < 1.400 m.s.n.m. y suelos argilúvicos (Cabrera, 2010). Las principales formaciones de *Pinus sylvestris* se encuentran al norte y al centro de Euroasia, aquellas formaciones que se encuentran más al sur persisten en los refugios situados en los microclimas que generalmente se sitúan a una gran altitud. Por lo tanto, las formaciones de *Pinus sylvestris* situadas en Valsaín son una de las formaciones situadas en el límite sur de su distribución global (Castro *et al*, 2004).

Pinus sylvestris es la principal formación vegetal del pinar y es la más extendida en los montes, ocupa desde los 1.200 m hasta más arriba de los 1.800 m. (Cabrera, 2010). Es una especie pionera tolerante a los suelos pobres en nutrientes, la sequía y tiene una alta resistencia a las heladas, además se encuentra en diversas condiciones climáticas y hábitats ecológicos (Houston-Durrant, *et al*, 2016). Los robledales de *Quercus pyrenaica*: se encuentra en forma de sotobosque entre los 1.000 m y los 1.400 m, se ve limitado por las nevadas tempranas y tardías. La vegetación en el rebollar se encuentra compuesta por la estepa *Cistus laurifolius*, el espino negro, entre otros. Por encima de la cota del pinar alrededor de los 1.300 y 1.400 m se pueden encontrar formaciones vegetales de *Nardus stricta* acompañada por otros géneros como *Festuca*, *Anthozanthum* y *Trifolium* (Cabrera, 2010).

2.2. Definición de indicadores de adaptación de bosques al cambio climático

La elaboración de una lista de indicadores de adaptación al cambio climático es un proceso que va desde la evaluación de la información disponible y la generación de una lista preliminar de indicadores, hasta la elaboración de un marco lógico que permita organizar y presentar la información recogida bajo un modelo teórico que se adapte a la información que se quiere presentar. Para elaborar el primer listado de indicadores se han consultado fuentes bibliográficas que tratan las consecuencias del cambio climático en bosques. Dichas fuentes fueron: i) Proyectos de difusión de información ambiental del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente con información objetiva, actualizada y contrastable, tales como el Banco Público de Indicadores Ambientales y el Sistema Regional de Indicadores Ambientales; ii) Informes de Evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en

España; iii) Artículos de carácter científico que tratan la temática (Herrero, Zavala, 2015; Cachón de Mesa, 2016; Moreno *et al*, 2005).

Posteriormente se han seleccionado los indicadores sencillos, fáciles de obtener y de comunicar que muestren una relación directa entre el efecto del cambio climático y el impacto observado en bosques, y que, por tanto, sean indicadores del grado de adaptación de la masa forestal. Siguiendo el modelo teórico de Presión-Estado-Respuesta se han definido un total de nueve indicadores: tres de presión, cinco de estado y uno de respuesta. Los indicadores seleccionados se exponen en una tabla técnica que describe: i) el tipo de indicador (muestra la categoría a la que pertenece el indicador dentro del modelo PER); ii) la definición del indicador (indica que muestra el indicador realizando una breve descripción de las variables que conforman el indicador); iii) la relevancia (muestra la importancia que tiene el indicador en la evaluación de los impactos del cambio climático sobre el medioambiente, conecta las variables del indicador con los problemas ambientales); iv) la unidad de medida (muestra cómo se expresa el indicador).

Posteriormente, y en base a la información disponible en bases de datos y Planes de Ordenaciones Forestales del Monte de Valsaín para el sistema de indicadores propuesto, se ha realizado un estudio del grado adaptación de la masa forestal del Pinar de Valsaín (ver detalles metodológicos de las bases usadas en el Anexo I).

3. Resultados

3.1. Generación de un sistema de indicadores de adaptación al cambio climático.

En este apartado de carácter teórico, se presenta una tabla técnica un sistema de indicadores para medir el grado de adaptación de un sistema al cambio climático (Tabla 1). El sistema de indicadores propuesto incluye tres de presión que se relacionan con la sequía, la temperatura y la frecuencia de incendios; cinco indicadores de estado que se relacionan con el crecimiento, la defoliación, la mortalidad y el número de especies amenazadas e introducidas; y uno de respuesta que se relaciona con la pertenencia o no al sistema de áreas protegidas.

Tabla 1. Resumen de los diferentes indicadores utilizados para evaluar la adaptabilidad de un sistema forestal.

Indicador	Definición	Relevancia	Unidad
Presión			
Sequía ¹	La precipitación es un 20% inferior al valor medio de la serie	↑ del estrés hídrico	mm
Temperatura ²	Variación de la temperatura media máxima	↑ causaría un decaimiento forestal	°C
Incendios forestales ³	Frecuencia y superficie anual afectada por incendios forestales	Pérdida de vegetación, disminución de la biodiversidad y aumento de la erosión	(ha. año ⁻¹ y No. incendios año ⁻¹)
Indicador	Definición	Relevancia	Unidad
Estado			
Crecimiento ⁴	Variación del volumen forestal por hectárea	↓ por fenómenos extremos (e.g. mayor temperatura y menor precipitación primavera) y agentes externos (plagas y enfermedades)	(m ³ / ha)
Defoliación ⁵	Porcentaje de masa foliar	↑ por fenómenos meteorológicos extremos, (e.g. contaminación atmosférica, mayor temperatura) y agentes externos (plagas y enfermedades)	% Masa foliar

Mortalidad ⁶	Pérdida de área basal	↑ por fenómenos extremos (e.g. sequía extrema e incremento de la temperatura) y agentes externos (plagas y enfermedades)	%m ²
Especies introducidas ⁷	No. Especies vegetales introducidas según el Catálogo Español de especies invasoras y el RD. 630/2013 de 2 de agosto	↑ supondría una alteración de las condiciones tróficas de los sistemas naturales	No. Especies introducidas
Especies Forestales Amenazadas ⁸	No. Especies incluidas en los catálogos de especies amenazadas de España y su porcentaje respecto al total	↑ supondría un proceso de pérdida de la biodiversidad	No. Especies amenazadas y %
Indicador	Definición	Relevancia	Unidad
Respuesta			
Espacios Naturales Protegidos ⁹	Porcentaje de superficie en hectáreas declarada ENP	Herramienta básica para la gestión sostenible del territorio y la adaptación al cambio climático	%ha

Fuente: **1-2.** MAPAMA (2014), AEMET (2011), Dones (2018), **3.** Dones (2007-2018), Cabrera (2010), **4.** Rey (1941, 1948, 1959), Fernández *et al* (1965), Madrigal *et al* (1989), Cabrera (1999, 2010), **5.** MAPAMA (2014), Cabrera (2010), Dones (2018), **6.** Herrero & Zavala (2015), Sánchez-Salguero *et al* (2012b); Villanueva (2005), **7.** Capdevila-Argüelles, Zilletti, & Álvarez (2011) **8.** Izquierdo Moreno (2017), **9.** Valdés (1997), CNIG (2015); EEA (2018a), IDEE (2017), Dones (2018).

3.2. Aplicación del sistema de indicadores al Pinar de Valsaín

En este segundo apartado de carácter práctico, se han calculado los indicadores de adaptación de la Tabla 1 cuya información se encontraba disponible (métodos expuestos en el Anexo 1): periodos de sequía, temperatura, incendios forestales, crecimiento, defoliación, número de especies amenazadas y espacios naturales protegidos.

A partir de los años 80 se observa un aumento de la frecuencia de los años secos (ver barras amarillas, Figura 3a) y una tendencia descendente de la precipitación media (ver cambio de pendiente en la línea azul en Figura 3a). A partir de 1971 se muestra un inicio de aumento de la temperatura, aunque con una cierta variabilidad anual (ver curva de línea roja de puntos que indica una tendencia ascendente de la temperatura media máxima, Figura 3a). En cuanto a los

incendios forestales, los registros indican una baja incidencia por incendios en el monte durante el periodo de estudio 2000-2016 (Figura 3b).

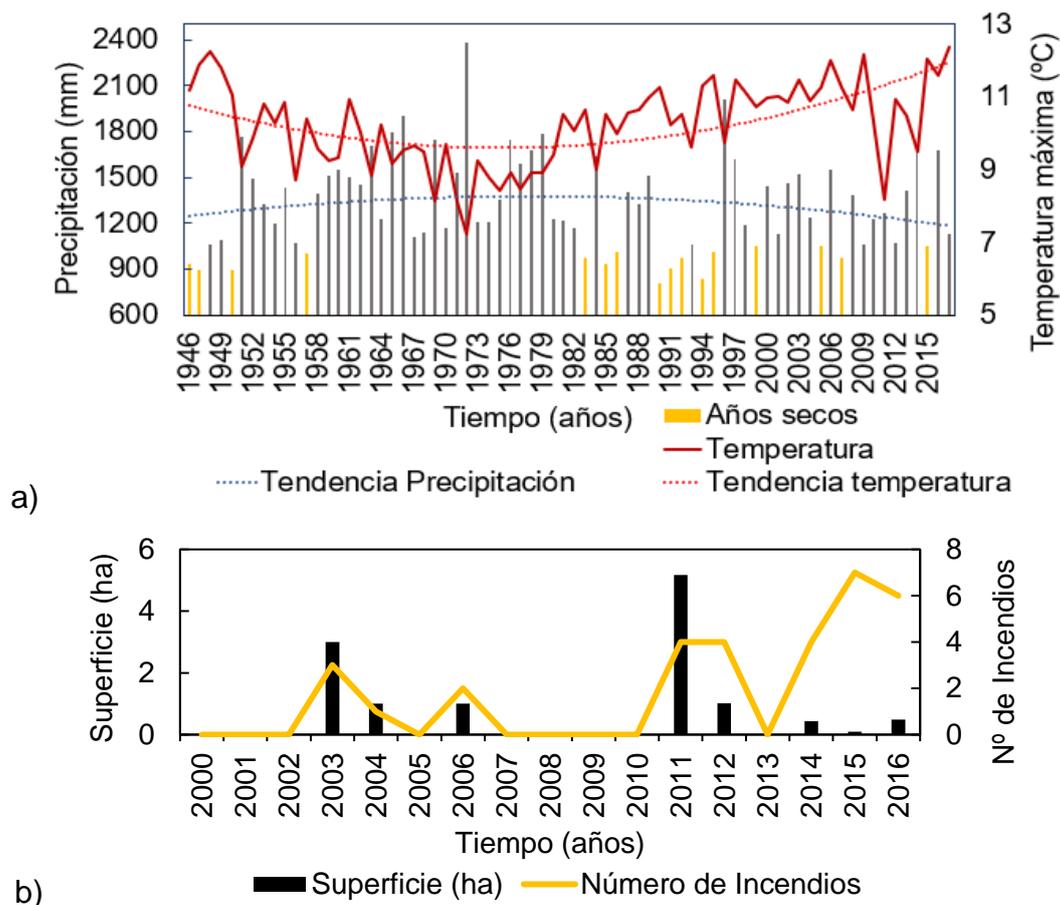


Figura 3. (a) Evolución de precipitación y temperatura media máxima anual basada en la serie climática de la estación meteorológica del Puerto de Navacerrada. Se muestran los años secos (ver barras en color amarillo), las tendencias de la precipitación (ver línea discontinua en azul) y la temperatura (línea discontinua en rojo). Las regresiones polinómicas de ambas figuras muestran tendencias opuestas para la precipitación anual y para la temperatura media máxima anual. Fuente: Elaboración propia a partir de datos MAPAMA (2014) y en base a Sánchez-Salguero *et al* (2012b). (b) Evolución de la superficie afectada por incendios y el número de incendios basado en los datos de la 7ª Revisión del Plan de Ordenación del Pinar de Valsaín y las Memorias Anuales de Actividades del periodo 2006-2017. Se muestra el número de incendios (ver línea amarilla) y la superficie afectada por los mismos (ver barras en negro). Fuente: Elaboración propia a partir de MAPAMA (2014) y Cabrera & Donés (2010).

Analizando los indicadores de estado, se observa una elevada variabilidad en el crecimiento (Figura 4a) aumento de la defoliación (Figura 4b) y baja mortalidad. Desde finales de 1880 hasta el año 1958 la variación del incremento del volumen de la masa forestal tiene una tendencia ascendente claramente marcada por los picos de los años 1941 y 1958, en este periodo el incremento del volumen pasa de $21,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ al inicio del proyecto de ordenación en 1889 a $80,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en la tercera revisión en 1958. Contrario a lo que sucede en el primer periodo, a partir 1965, el crecimiento sigue un patrón más suavizado en donde las variaciones en

el incremento no son tan bruscas. Durante este segundo periodo el aumento pasa de $20,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en 1965 a $30,95 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en 2010. Además la regresión lineal del conjunto (ver línea discontinua, Figura 4a) señala una tendencia descendente del crecimiento a lo largo del periodo estudiado. En cuanto a la defoliación de la masa forestal, los datos no muestran tendencias claras, pero la regresión polinómica (ver línea discontinua en negro, Figura 4b) presenta una concavación que indica tendencia ascendente a partir de 2009. Los datos de mortalidad del Monte de Valsaín indican que de los $2,86 \cdot 10^9 \text{ m}^2$ el área basal disminuyó $0,08 \text{ m}^2$ ($<0,01\%$) entre 1991 y 2004 (i.e. entre el segundo y tercer Inventario Forestal Nacional en Segovia).

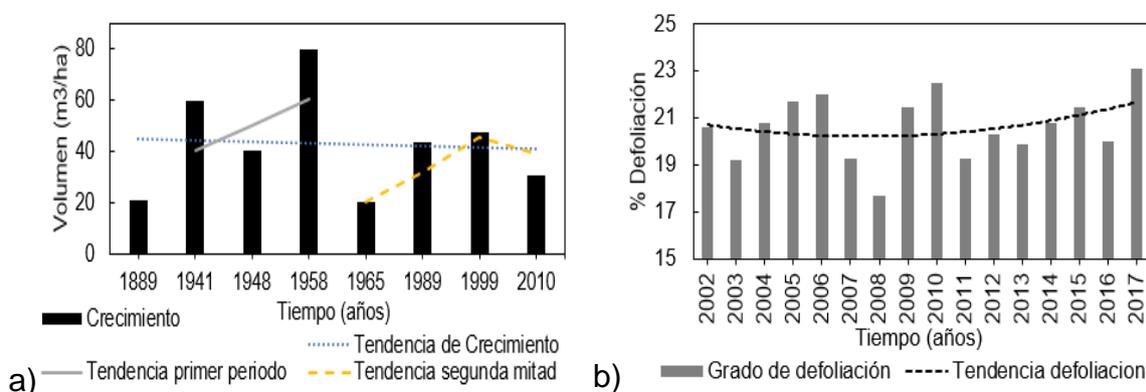


Figura 4 (a). Evolución del volumen forestal basado en los datos de las ordenaciones forestales del monte. Se muestra la variación en el aumento de volumen forestal (barra negra). Las regresiones lineales de los dos periodos (1889-1958 línea continua verde y 1965-2010 línea discontinua amarilla) señalan diferentes tendencias de crecimiento para el periodo de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Re (1941, 1948, 1959), Fernández *et al* (1965), Madrigal *et al* (1989), Cabrera (1999, 2010). Figura 4 (b). Evolución del grado de defoliación basado en los datos de la 7ª Revisión del Plan de Ordenación del Pinar de Valsaín y las Memorias Anuales de Actividades del periodo 2002-2017. Se muestra el porcentaje de defoliación (Barras en gris). Se puede observar una línea de tendencia (línea discontinua) en forma cóncava que indica un aumento en la defoliación. Fuente: Elaboración propia a partir de MAPAMA (2014) y Cabrera & Donés (2010).

Por otro lado, dentro del Monte de Valsaín se han catalogado 867 taxones (Cabrera & Donés, 2010) de los cuales tres (0,34%, ver especies con asterisco, ver Tabla 2) se encuentran dentro del Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Madrid y Catálogo de la flora rara, endémica y amenazada del Parque Natural de Peñalara. Además dentro de la Zona Periférica de Protección (ZPP) se han catalogado 180 taxones de los cuales 75 (8,65%, ver Tabla 2) se encuentran dentro del Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Madrid y Catálogo de la flora rara, endémica y amenazada del Parque Natural de Peñalara.

Tabla 3. Listado de flora catalogada como amenazada dentro de la ZPP y con presencia probable dentro del Pinar de Valsaín.

• <i>*Melittis melissophyllum</i> L. Fam.: <i>Labiatae</i>	• <i>*Prunus padus</i> L. subsp. <i>padus</i> Fam.: <i>Rosaceae</i>	• <i>*Pyrola minor</i> L. Fam.: <i>Pyrolaceae</i>
• <i>Aconitum vulparia</i> subsp. <i>neapolitanum</i>	• <i>Alopecurus aequalis</i> Sobol	• <i>Aquilegia vulgaris</i> L. subsp. <i>hispanica</i>
• <i>Betula pendula</i> Roth subsp. <i>pendula</i>	• <i>Betula pendula</i> Roth subsp. <i>fontqueri</i>	• <i>Betula pubescens</i> Ehrh.
• <i>Blechnum spicant</i> (L.) Roth subsp. <i>spicant</i>	• <i>Carduus carpetanus</i>	• <i>Centaurea nigra</i> L. subsp. <i>carpetana</i>
• <i>Coincya monensis</i> (L.) subsp. <i>orophila</i>	• <i>Conopodium pyrenaicum</i>	• <i>Corydalis intermedia</i>
• <i>Crocus carpetanus</i>	• <i>Dactylorhiza elata</i>	• <i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) subsp. <i>subtriflora</i>
• <i>Doronicum carpetanum</i>	• <i>Digitalis thapsi</i> L.	• <i>Drosera rotundifolia</i> L.
• <i>Eleocharis quinqueflora</i>	• <i>Epilobium montanum</i> L.	• <i>Epilobium lanceolatum</i>
• <i>Erica tetralix</i> L.	• <i>Festuca iberica</i>	• <i>Festuca rivularis</i>
• <i>Fraxinus excelsior</i>	• <i>Fritillaria lusitanica</i>	• <i>Galium broterianum</i>
• <i>Galium papillosum</i> subsp. <i>papillosum</i>	• <i>Herniaria scabrida</i> Boiss	• <i>Hieracium argyrocomum</i>
• <i>Hieracium castellanum</i>	• <i>Hieracium schmidtii</i>	• <i>Holcus reuteri</i>
• <i>Ilex aquifolium</i>	• <i>Jasione laevis</i>	• <i>Juncus bulbosus</i>
• <i>Juniperus thurifera</i>	• <i>Koeleria crassipes</i>	• <i>Leontodon carpetanus</i> Lange subsp. <i>carpetanus</i>
• <i>Leucanthemopsis pallida</i> subsp. <i>pallida</i>	• <i>Lilium martagon</i>	• <i>Linaria elegans</i>
• <i>Linaria nivea</i>	• <i>Linaria saxatili</i>	• <i>Luzula multiflora</i> subsp. <i>multiflora</i>
• <i>Luzula sylvatica</i> subsp. <i>sylvatica</i>	• <i>Merendera montana</i>	• <i>Narcissus pseudonarcissus</i> L. subsp. <i>portensis</i>
• <i>Narcissus rupicola</i>	• <i>Orchis mascula</i>	• <i>Paris quadrifolia</i>
• <i>Parnassia palustris</i>	• <i>Polystichum aculeatum</i>	• <i>Populus tremula</i>
• <i>Potentilla rupestris</i>	• <i>Prunus avium</i>	• <i>Pyrola minor</i>
• <i>Quercus petraea</i> subsp. <i>petraea</i>	• <i>Rosa villosa</i>	• <i>Rumex papillaris</i>
• <i>Sagina saginoides</i>	• <i>Sambucus nigra</i>	• <i>Sanguisorba officinalis</i>
• <i>Senecio nebrodensis</i>	• <i>Sorbus aria</i>	• <i>Sorbus aucuparia</i>
• <i>Taxus baccata</i>	• <i>Thlaspi stenopterum</i>	• <i>Thymus bracteatus</i>
• <i>Trisetum ovatum</i>	• <i>Utricularia minor</i>	• <i>Vaccinium myrtillus</i>
• <i>Vicia pyrenaica</i>	• <i>Veratrum album</i> L.	• <i>Wahlenbergia hederacea</i>

Fuente: Izquierdo Moreno (2017).

*Flora catalogada como amenazada presente en el Monte de Valsaín.

Analizando el indicador de respuesta “Espacios Naturales Protegidos” se observa que el 37% (2800 ha) del Pinar de Valsaín forman parte del Parque

Nacional (PN) Sierra de Guadarrama, el 63% (4800 ha) restante se encuentran dentro de la Zona Periférica de Protección (ZPP). Además, la ZPP en una Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA). Estas normativas de protección permiten que la totalidad del pinar forme parte de la Red Natura 2000 (Figura 5).

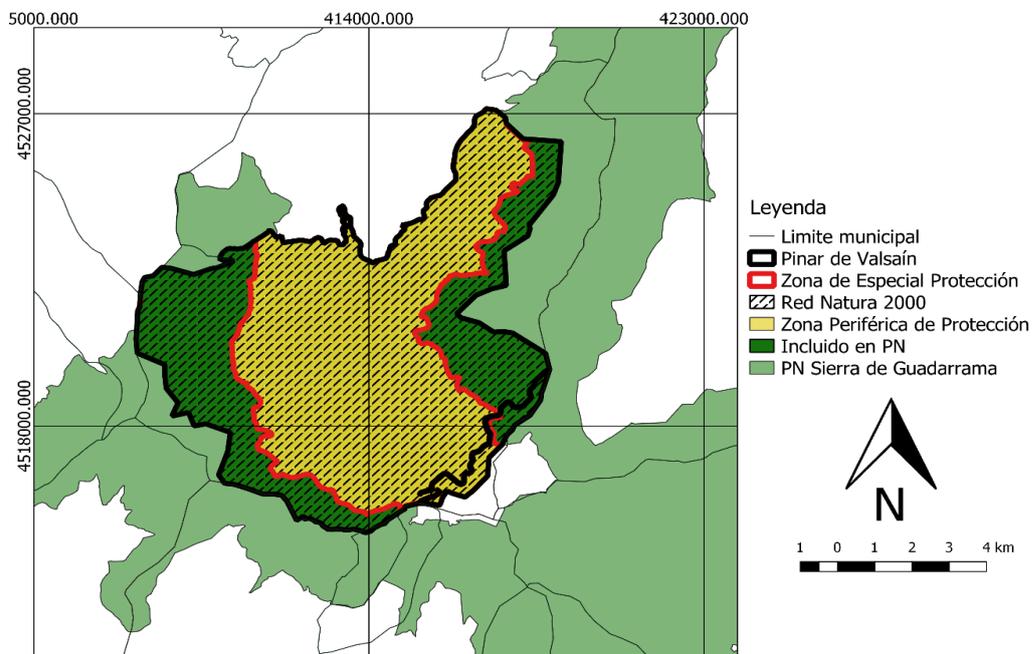


Figura 5. Espacios Naturales Protegidos en el Pinar de Valsain. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CNIG (2015), EEA (2018a), EEA (2018b).

4. Discusión

4.1. Sistema de indicadores del grado de adaptación bosques al cambio climático

En el presente Trabajo de Fin de Grado se ha propuesto un sistema de indicadores de adaptación al cambio climático cuya información se puede obtener de forma sencilla a partir de fuentes oficiales. Este sistema permite recoger la información estadística anual a una escala local, regional o nacional para posteriormente analizar su tendencia a lo largo del tiempo. La información se presenta en un formato organizado que puede contribuir a la supervisión de los progresos realizados en la política de adaptación ambiental y su efecto en la respuesta forestal. Por ello, el sistema puede ser una herramienta complementaria de otras actuaciones de gestión y de adaptación de los montes públicos y privados (e.g. gestión forestal próxima a la naturaleza, Tíscar *et al*, 2015; sistema de certificación FSC para productos procedentes de una gestión forestal sostenible, Martínez *et al*, 2015; protección preventiva, Gómez-Calmaestra, 2015; control en el sotobosque, Blanco *et al* 2015).

En términos generales los sistemas de indicadores surgen de la necesidad de ordenar y dar un sentido más amplio a la información proporcionada por los indicadores, permiten establecer conexiones entre los indicadores para dar funcionalidad y un significado al conjunto (Manteiga, 2000). El concepto de sistema de indicadores se ha empleado con anterioridad en la evaluación de la calidad ambiental (Escobar *et al* 2006; Recatalá-Boix *et al* 2009), el manejo, caracterización y ordenación forestal sostenible (Palacio-Prieto *et al*, 2004; Herrero-Echevarría *et al*, 2010), en la sostenibilidad de los espacios naturales protegidos (Becerra & Bravo, 2008) y el campo de la adaptación (Domingo, 2015; Life+Boscos, 2015; González Díaz *et al*, 2018). Por lo que, a pesar de partir de una idea empleada con anterioridad, el sistema que se propone relaciona el cambio climático con sus efectos en los bosques para evaluar su estado y establecer el grado de adaptación de los sistemas forestales.

Los indicadores seleccionados en este TFG surgen del quinto informe del IPCC (2014), en donde los riesgos (factores de presión) tales como altas temperaturas y sequías e incendios forestales pueden provocar una situación de estrés que desencadenaría una disminución en el crecimiento y un aumento de la

defoliación y de la mortalidad forestal. Se ha considerado oportuno tener en cuenta las especie amenazadas y la introducidas ya que el conocimiento del estado de ambos puede ayudar a establecer adecuadas técnicas de gestión que permitan la conservar la diversidad biológica del bosque. Por último, el indicador de respuesta seleccionado pretende mantener un control sobre las zonas protegidas, ya que tienen un elevado valor ecológico y se dedican a la conservación de la naturaleza aplicando una multitud de proyectos destinados a ese propósito. Dentro del sistema que se propone en este documento se podrían haber incluido otros indicadores de adaptación (e.g. plagas, biodiversidad, regeneración de masas, productividad, diversidad genética, métodos de gestión), pero que por motivos limitantes no se han podido obtener y calcular los datos para realizar las tendencias de dichos indicadores.

4.2. Adaptación al cambio climático en el Pinar de Valsaín

Se ha observado un descenso de la precipitación media anual, un aumento en la frecuencia de los periodos de sequía y un aumento significativo de la temperatura desde los años 50, aunque estas tendencias son más acusadas en la última década. Como consecuencia de los cambios en la temperatura y precipitación se produce un aumento en la intensidad de la aridez, hecho que se espera que suceda en los bosques mediterráneos y que podría ocasionar un aumento en el número de incendios (Christensen *et al*, 2007; Moreno *et al*, 2015). El aumento de la aridez puede conllevar una insuficiencia de recursos hídricos y un aumento el estrés en el arbolado que podría afectar a las masas forestales (Sánchez-Salguero *et al*, 2012b). Los incendios tuvieron una baja afeción en el Pinar de Valsaín (Figura 3b), en 2012-2016 se observó un aumento en la frecuencia de incendios y una reducción de la superficie afectada que podría deberse a la mejora del dispositivo de reacción de los incendios (Cabrera & Donés, 2010). Se considera el incremento de años secos, temperatura e incendios como factores negativos de presión.

Las series de crecimiento de las poblaciones de *Pinus sylvestris* muestra dos marcadas tendencias de crecimiento (muy variable durante los años 1889-1958 y más suavizada a partir de 1965). Las variaciones observadas en el crecimiento podrían deberse a las tendencias de temperatura y precipitación ya que las mayores variaciones en el crecimiento coinciden con un periodo en el que la

temperatura tiene una tendencia descendiente y una mayor proporción de años húmedos (hasta los años 60). En los periodos cálidos y con una mayor proporción de años secos (a partir de los años 80) se observa que el crecimiento tiene una variación más suavizada. Los patrones de precipitación y temperaturas ocurridos durante el segundo periodo dan lugar a unas condiciones que, en años secos, podrían favorecer embolias (i.e. la obstrucción con aire de los conductos del xilema, Martínez-Vilalta & Piñol, 2003; Martínez-Vilalta *et al*, 2004) que pueden dar lugar a una disminución en el crecimiento de la masa forestal o incluso la mortalidad del individuo (Sánchez-Salguero *et al*, 2012c).

Se observan tendencias ligeras y ascendentes en la defoliación, a pesar de tener puntos bajos como el del año 2008 y un ligero aumento a partir del año 2009 (Figura 4b). La defoliación media de la zona se ha mantenido entre el 11% y el 25%, lo que se considera un nivel de defoliación ligero (Dones, 2018). También se observa una baja mortalidad según los datos del Inventario Forestal Nacional. Las ligeras variaciones de defoliación y la baja mortalidad pueden deberse a las tendencias de los factores climáticos de presión. La mayoría de los estudios coincide en que la reducción de la disponibilidad hídrica, las interacciones biológicas (plagas y enfermedades) y variaciones de las variables climáticas (temperatura y precipitación) podrían causar un aumento de la defoliación y mortalidad de la especie *Pinus sylvestris* de la península Ibérica (Hódar *et al*, 2001; Cerrillo *et al*, 2007; Sánchez-Salguero *et al*, 2012c; Camarero *et al*, 2004). Se considera el descenso del crecimiento y el incremento de la defoliación y mortalidad como factores negativos de adaptación.

La información relativa a las especies introducidas y amenazadas es escasa, las ordenaciones se limitan a señalar el número de especies alóctonas y que se encuentran “ligadas a ambientes urbanos, cerca de casa, jardines y aparcamientos” y en las memorias consultadas no hay datos respecto a las especies vegetales introducidas. Dado que el Monte es una zona de interés ambiental se recomienda realizar un catálogo y hacer un seguimiento detallado de estas especies incluyendo al menos i) Nombre común, taxonomía y; ii) Descripción de la especie, área distribución nativa y característica ecológicas de la especie; iii) Cartografía de distribución; iv)* Vías de entrada y vectores de

introducción; v)* Impactos asociados a la introducción de la especie (*especies introducidas, MAPAMA, 2017).

Aunque es difícil establecer un listado general de todas las especies que encuentran dentro del Pinar de Valsaín, se han observado taxones en riesgo de extinción. Las proyecciones sobre la dirección del cambio climático y su impacto en el sistema muestran que las especies amenazadas pueden verse afectadas y que el área de distribución de muchas de ellas podría verse reducida. Por ello, Gómez-Calmaestra (2015) propone la optimización de los listados y catálogos, a través de la actualización de los sistemas de seguimiento de las especies que sean susceptibles de presentar problemas de conservación por los efectos del cambio climático. Se considera la incorporación de especies a las listas legales de especies amenazadas y el aumento de especies introducidas de carácter invasor como factores negativos de adaptación.

Analizando el indicador de respuesta Espacios Protegidos se ha podido observar que la protección del pinar ha sufrido un cambio jurídico. Desde que en el año 2013 se declaró Parque Nacional de Sierra de Guadarrama, parte de la superficie del pinar de Valsaín (2800 ha aproximadamente el 37%) queda incluida dentro del Parque Nacional adoptando un *“alto valor ecológico y cultural”*. La superficie restante 4800 ha (63%) se incluye en la Zona Periférica de Protección, adquiriendo un régimen jurídico especial cuyo objetivo es *“Proyectar los valores del parque en su entorno y amortiguar los impactos ecológicos o paisajísticos procedentes del exterior sobre el Parque Nacional”* (España, 2007). Además se ha observado que el Monte de Valsaín pertenecen a la Zona de Especial Protección para las Aves, lo cual implica que en su conjunto el pinar pertenece a la Red Natura 2000 (Valdés, 1997). El quinto informe del IPCC (2014) identifica a los espacios protegidos como un instrumento para amortiguar los efectos del cambio climático, por lo tanto constituyen una herramienta importante en la mitigación y la adaptación de los ecosistemas. Estos espacios se encuentran bajo una gestión adaptativa que permite el diseño y la aplicación de una multitud de proyectos destinados a gestionar especies de especial interés y mantener o mejorar el estado de conservación de los ecosistemas que conservan, es decir en estos se contempla la adaptación como un método de gestión (Atauri, 2015;

Rodríguez, 2015). Se considera la generación de espacios protegidos como un factor positivo de adaptación.

5. Conclusión

En la búsqueda de información para la realización del Sistema de indicadores de adaptación se ha observado que los indicadores y los sistemas de indicadores se han empleado con anterioridad en informes nacionales (Cachón de Mesa, 2016; MAPAMA, 2016; Herrero, Zavala, 2015; MAPAMA, 2017b), en la evaluación de la calidad ambiental (Escobar *et al*/2006; Recatalá Boix *et al*/2009), el manejo, caracterización y ordenación forestal sostenible (Palacio-Prieto *et al*, 2004; Herrero Echevarría *et al*, 2010), en la sostenibilidad de los espacios naturales protegidos (Becerra & Bravo, 2008). También se han utilizado en el campo de la adaptación (Domingo, 2015; Life+Boscos, 2015; González Díaz *et al*, 2018). En este último se ha observado que los sistemas se pueden utilizar para el seguimiento de medidas de adaptación dentro de la gestión forestal adaptativa (Life+Boscos, 2015, González Díaz *et al*, 2018). El sistema que se propone en este documento muestra a través de parámetros la relación existente entre los aspectos cambio climático y sus efectos en los bosques, con el fin de evaluar el estado de los bosques para posteriormente establecer el grado de adaptación de los sistemas forestales.

El Pinar de Valsain es un ejemplo de aplicación del sistema de indicadores propuesto, ya que, muestra una disminución en su crecimiento y un ligero aumento en la defoliación que podrían deberse a las consecuencias de una tendencia más seca y calurosa del clima (Martínez-Vilalta & Piñol, 2003; Adams *et al*, 2009; Sánchez-Salguero *et al*. 2012c; Allen *et al*, 2015). El fuego, sin embargo, no es un factor de presión de carácter relevante en el Pinar de Valsain, aunque los aumentos de olas de calor y sequías extremas esperadas podrían aumentar el aumento la frecuencia y severidad de los incendios (IPCC, 2014, Herrero & Zavala, 2015, Cabrera & Donés, 2010, Vilà-Cabrera *et al*. 2015).

El sistema de indicadores de adaptación al cambio climático propuesto en este TFG podría ser una herramienta complementaria a las medidas de gestión adaptativa forestal ya existentes (e.g. gestión forestal próxima a la naturaleza, sistema de certificación, protección preventiva) con el fin de, por un lado establecer si el bosque puede adaptarse a las condiciones al cambio climático y evitar o disminuir los eventos de decaimiento y mortalidad forestal, y por otro, permitir un seguimiento de las medidas de adaptación aplicadas.

6. Bibliografía.

Adams, H.D., Guardiola-Claramonte, M., Barron-Gafford, G.A., Villegas, J.C., Breshears, D.D., Zou, C.B., Troch, P.A. & Huxman, T.E. (2009) Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 106(17):7063–7066.

AEMET (2011) Atlas Climático Ibérico: temperatura del aire y precipitación 1971-2000. In. Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino., Spain. URL: <http://opengis.uab.es/wms/iberia/> [Accedido el 10 Abril 2018]

Allen, C.D., Breshears D.D., & McDowell, N.G. (2015) On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere* 6(8):129.

Atauri, J.A., (2015) La importancia de los espacios protegidos en la adaptación al Cambio Climático en España: Una visión general. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 1:451-455.

Becerra, A.T. & Bravo, X.L. (2008) Los espacios naturales protegidos. Concepto, evolución y situación actual en España. *M+ A: Revista Electrónica de Medioambiente*, (5), 1.

Beer, C., Reichstein, M., Tomelleri, E., Ciais, P., Jung, M., Carvalhais, N., Rodenbeck, C., Arain, M.A., Baldocchi, D., Bonan, G.B., Bondeau, A., Cescatti, A., Lasslop, G., Lindroth, A., Lomas, M., Luysaert, S., Margolis, H., Oleson, K.W., Rouspard, O., Veenendaal, E., Viovy, N., Williams, C., Woodward, F.I. & Papale, D. (2010) Terrestrial gross carbon dioxide uptake: global distribution and covariation with climate. *Science (New York, N.Y.)*, 329(5993):834-838

Benito Garzón, M., Sánchez De Dios, R. & Sainz Ollero, H. (2008) Effects of climate change on the distribution of Iberian tree species. *Applied Vegetation Science* 11(2):169-178.

Blanco, J.A., Imbert, J.B., & Castillo, F.J. (2015). Adaptación al cambio climático en pinares pirenaicos: controlando la densidad del rodal según el tipo de clima. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 1: 565-572.

Breshears, D.D., Cobb, N.S., Rich, P.M., Price, K.P., Allen, C.D., Balice, R.G., Romme, W.H., Kastens, J.K., Floyd, M.L., Belnap, J., Anderson, J.J., Meyers, O.B., & Meyer, C.W. (2005) Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 102(42):15144–15148.

Byron, R.N. & Arnold, J.E.M. (1999). What futures for the people of the tropical forests? *World Development* 27(5): 789-805.

Cabrera, M. & Donés, J. (1999) Proyecto de la 6ª Revisión de la Ordenación del Monte de CUP N.º 2 DEL de la provincia de Segovia Pinar de Valsaín. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Término municipal de San Ildefonso de La Granja, España.

Cabrera, M. & Donés, J. (2010) Proyecto de la 7ª Revisión de la Ordenación del Monte de UP N.º 2 de la provincia de Segovia Pinar de Valsaín. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Término municipal de San Ildefonso de La Granja, España.

Cachón de Mesa, J. (2016) Perfil Ambiental de España: Informe basado en indicadores. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Paseo de la Infanta Isabel, 1, Madrid. 1(13):333.

Camarero, J.J., Lloret, F., Corcuera, L., Peñuelas, J., & Gil-Pelegrín, E. (2004) Cambio global y decaimiento del bosque. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, 397-423.

Capdevila-Argüelles, L., Zilletti, B. & Álvarez, V. (2011) Cambio climático y especies exóticas invasoras en España. Diagnóstico preliminar y bases de conocimiento sobre impacto y vulnerabilidad. Documento de síntesis. *Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino*. Madrid, 1:17.

Castro, J., Zamora, R., Hódar, J.A. & Gómez, J.M. (2004) Seedling establishment of a boreal tree species (*Pinus sylvestris*) at its southernmost distribution limit: consequences of being in a marginal Mediterranean habitat. *Journal of Ecology*, 92(2):266-277.

Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), (2015) Línea límite Municipales. Ministerio de Fomento, Spain URL: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do?Serie=CAANE> [Accedido el 16 Junio 2018]

Cerrillo, R.N., Varo, M.A., Lanjeri, S., & Clemente, R.H. (2007) Cartografía de defoliación en los pinares de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y pino salgareño (*Pinus nigra*) en la Sierra de los Filabres. *Revista Ecosistemas*, 16(3).

Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon, W.T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C.G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A. & Whetton, P. (2007) Regional climate projections. *Climate change 2007: The physical science bases*. (ed. S. Solomon, Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. & Miller H.L.). Cambridge & New York. pp. 847-943

De Castro, M., Martín-Vide, J. & Alonso, S. (2005) El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI. *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Ministerio de Medio Ambiente, 1:1-64.

Domingo J. (2015) Gestión forestal adaptativa en Menorca. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 1:451-455.

Dones, J. (2007) Memoria anual de actividades del Centro Montes y Aserradero de Valsaín Año 2006. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Centro Montes y Aserradero de Valsaín, Madrid, pp.55

Dones, J. (2008) Memoria anual de actividades del Centro Montes y Aserradero de Valsaín Año 2007. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Centro Montes y Aserradero de Valsaín, Madrid, pp. 95

Dones, J. (2009) Memoria anual de actividades del Centro Montes y Aserradero de Valsaín Año 2008. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Centro Montes y Aserradero de Valsaín, Madrid, pp. 67

Dones, J. (2010) Memoria anual de actividades del Centro Montes y Aserradero de Valsaín Año 2009. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Centro Montes y Aserradero de Valsaín, Madrid, pp. 70

Dones, J. (2011) Memoria anual de actividades del Centro Montes y Aserradero de Valsaín Año 2010. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Centro Montes y Aserradero de Valsaín, Madrid, pp. 62

Dones, J. (2012) Memoria anual de actividades del Centro Montes y Aserradero de Valsaín Año 2011. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Centro Montes y Aserradero de Valsaín, Madrid, pp. 71

Dones, J. (2013) Memoria anual de actividades del Centro Montes y Aserradero de Valsaín Año 2012. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Centro Montes y Aserradero de Valsaín, Madrid, pp. 66

Dones, J. (2014) Memoria anual de actividades del Centro Montes y Aserradero de Valsaín Año 2013. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Centro Montes y Aserradero de Valsaín, Madrid, pp. 101

Dones, J. (2015) Memoria anual de actividades del Centro Montes y Aserradero de Valsaín Año 2014. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Centro Montes y Aserradero de Valsaín, Madrid, pp. 148

Dones, J. (2016) Memoria anual de actividades del Centro Montes y Aserradero de Valsaín Año 2015. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Centro Montes y Aserradero de Valsaín, Madrid, pp. 219

Dones, J. (2017) Memoria anual de actividades del Centro Montes y Aserradero de Valsaín Año 2016. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Centro Montes y Aserradero de Valsaín, Madrid, pp. 149

Dones, J. (2018) Memoria anual de actividades del Centro Montes y Aserradero de Valsaín Año 2017. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Centro Montes y Aserradero de Valsaín, Madrid, pp. 145

Escobar, L. (2006) Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas. *Eure (Santiago)*, 32(96):73-98.

España (2007) “Ley 5/2007, de 3 de abril, de la Red de Parques Nacionales” *Boletín oficial del estado, 04 de abril de 2007* (81), pp 14639-14649

European Environment Agency (EEA) (2018b) Natura 2000 data - the European network of protected sites. European Environment Agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/natura-9#tab-gis-data>

[Accedido el 28 de Junio 2018]

European Environment Agency (EEA), (2018a) Nationally designated areas (CDDA). European Environment Agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/nationally-designated-areas-national-cdda-12#tab-gis-data>

[Accedido el 28 de Junio 2018]

FAO (2010) Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. *Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura*. Roma (disponible en: www.fao.org/forestry/fra/fra2010/es/)

FAO (2015) Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015: cómo están cambiando los bosques del mundo? 2da ed. *Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura*. Roma (disponible en: www.fao.org/forestry/fra/fra2010/es/)

Fernández, C., Benito E. & Muñoz, A. (1965) Proyecto de la 4ª Revisión de la Ordenación del Monte de la provincia de Segovia Pinar de Valsaín. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Término municipal de San Ildefonso de La Granja, España.

Fernández-González, F., Loidi, J., Moreno, J., Del Arco, M. & Fernández-Cancio, A. (2005) Impactos sobre la biodiversidad vegetal. *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid: 1:183-247.

Gamfeldt, L., Snäll, T., Bagchi, R., Jonsson, M., Gustafsson, L., Kjellander, P., Ruiz-Jaen, M.C., Fröberg, M., Stendahl, J., Philipson, C.D., Mikusiński, G., Andersson, E., Westerlund, B., Andrén, H., Moberg, F., Moen, J., &

Bengtsson, J. (2013). Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature communications*, 4, 1340.

García, C., Garza, R. & Picatoste, J.R. (2015) Marco normativo de la adaptación al cambio climático en España. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 1:437-441.

García, J., Rodríguez, F. & Velarde, M. (1999) Propuesta de Indicadores Ambientales para la Comunidad de Madrid. *Consejería del Medio Ambiente. Comunidad de Madrid*. España, 1:143

Gómez-Calmaestra, R. (2015) La protección legal como marco para las medidas de adaptación al cambio climático de las especies amenazadas en España: una visión preliminar. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 1:443-450.

González Díaz, P., Ruiz Benito, P., Estevez-Malvar, M., Herrero Méndez, A., Tíscar Olivares, P., Badillo, V., Donés, J., Andivia Muñoz, E., Madrigal González, J., Vilá Cabrera, A. & Sánchez Salguero, R. (2018) La certificación forestal como herramienta para la gestión forestal adaptativa. FSC, Forest Stewardship Council. España.

González-Huerta, A. (2015) Edafoclima del ecotono pinar de silvestre rebollar en los Montes de Valsaín (Segovia). Trabajo fin de carrera. Madrid, Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid.

Gracia, C., Gil, L., Montero, G. (2005) Impactos sobre el sector forestal. *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Ministerio de Medio Ambiente, 1:399-436.

Herrero, A. & Zavala, M.A. (2015) Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*, Madrid.

Herrero-Echevarría, J.A., Gómez, L.M., Díaz Quintero, G., & Bravo, J.A. (2010) *Criterios e indicadores de manejo forestal sostenible: una visión de futuro*. Agrinfor. Ministerio de la Agricultura, La Habana (Cuba).

Hódar, J.A., Zamora, R., Baraza, E., & Castro, J. (2001) La procesionaria del pino en los pinares autóctonos de Sierra Nevada. In *Congreso Forestal Español*.

Houston-Durrant, T., de Rigo, D. & Caudullo, G. (2016) *Pinus sylvestris* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of Forest Tree Species, Publication Office of the European Union, Luxembourg*. 132-133.

IPCC, (2007) Cambio climático 2007: Informe de síntesis. *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

IPCC, (2014) Cambio climático 2014: Informe de síntesis. *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.

Izquierdo-Moreno, J.L. (2017) Catálogo de la Flora de Interés del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. Parque Nacional y Zona Periférica de Protección. *Centro de Investigación, Seguimiento y Evaluación Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama*. Consejería de Medio Ambiente, Administración Local y Ordenación del Territorio Comunidad de Madrid.

Life+Boscos (2015) Proyecto LIFE+BOSCOS Gestión Forestal Sostenible en Menorca en un contexto de cambio climático. Informe final. Ed. Consell Insular de Menorca, Mahón. pp. 1-107. URL: http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE07_ENV_E_000824_FTR_ES.pdf [Accedido el 20 de Julio 2018]

López González, G.A. (2006) Los árboles y arbustos de la Península Ibérica e islas Baleares: especies silvestres y las principales cultivadas. Tomo 1. 2 edn. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Madrigal, A., Martínez, J., Abreu, J.M. & Cabrera, M. (1989) Proyecto de la 5ª Revisión de la Ordenación del Monte de CUP N.º 2 de la provincia de Segovia Pinar de Valsain. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Término municipal de San Ildefonso de La Granja, España

Manteiga, L. (2000) Los indicadores ambientales como instrumento para el desarrollo de la política ambiental y su integración en otras políticas. *Estadística y Medio Ambiente*. Instituto de Estadística de Andalucía. Terra centro para la política ambiental. Sevilla. pp 75-87.

Martínez Vilalta, J., & Piñol i Pascual, J. (2003) Limitaciones hidráulicas al aporte de agua a las hojas y resistencia a la sequía. *Ecosistemas: revista de la Asociación Española de Ecología Terrestre*, 12(1):1-7.

Martínez, S., Estevez, M. & Anguita, G. (2015) La certificación forestal FSC como instrumento para la adaptación de los bosques al cambio climático. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 1:463-476.

Martínez-Vilalta, J., Sala, A. & Piñol, J. (2004) The hydraulic architecture of Pinaceae. *Plant Ecology* 171:3-13

Millennium ecosystem assessment (2005) Forest and Woodland Systems. *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*. Millennium Ecosystem Assessment Series. Connecticut Avenue, Suite 300, NW, Washington, DC: Island press, Washington DC, 1:585-621.

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), (2012) Criterios e indicadores de gestión forestal sostenible en los bosques españoles. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA* Paseo Infanta Isabel 1, Madrid, 79.

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), (2014) Banco Público de Indicadores Ambientales (BPIA). *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*, Spain URL: <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion->

[ambiental/temas/informacion-ambiental-indicadores-ambientales/banco-publico-de-indicadores-ambientales-bpia-/](http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/aypinformeannualindicadores_2016_junio_tcm30-381441.pdf) [Accedido el 22 de Mayo de 2018]

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), (2016) Informe anual de Indicadores: Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. *Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente*. MAPAMA, España URL:

http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/aypinformeannualindicadores_2016_junio_tcm30-381441.pdf

[Accedido el 29 de Junio 2018]

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), (2017a) Catalogo de especies exóticas invasoras. *Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente*. MAPAMA, Spain URL:

<http://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/especies-exoticas-invasoras/default.aspx> [Accedido el 14 de Julio 2018]

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), (2017b) Publicaciones y documentación. Informes de Seguimiento. *Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente*. MAPAMA, Spain URL:

<http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/informes/OI.aspx>

[Accedido el 29 de Junio 2018]

Moreno, J. M., Urbieto, I., Bedia, J., Gutiérrez, J. & Vallejo, V. (2015) Los Incendios Forestales en España Ante el Cambio Climático. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid 1:395-406.

Moreno, J.M., Álvarez Cobelas, M., Benito, G., Catalán, J., Ramos Sánchez, M., Rosa, D.D.L., Valladares Ros, F. & Zazo, C. (2005) Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*. MAPAMA, pp. 822

Naciones Unidas y Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2014) *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: Paradojas y*

desafíos del desarrollo sostenible. Santiago de Chile, CEPAL: División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos.

Navarro-Cerrillo, R.M, Varo, MA, Lanjeri, S. & Hernández-Clemente, R. (2007) Cartografía de defoliación en los pinares de pino silvestre (*Pinus sylestris* L.) y pio salgareño (*Pinus nigra* Arn.) en la Sierra de los Filabres. *Ecosistemas*, 16:163-171.

OECD Environmental Indicators. (2003) Development, measurement and use. *Organization for Economic Co-operation and Development*, Paris.

Ojea, E., Ruiz-Benito, P., Markandya, A. & Zavala, M.A. (2012) Wood provisioning in Mediterranean forests: A bottom-up spatial valuation approach. *Forest Policy and Economics*, (20) 78-88.

Palacio-Prieto, J.L., Sánchez-Salazar, M.T., Casado Izquierdo, J.M., Propin Frejomil, E., Delgado Campos, J., Velázquez Montes, A., Chias Becerril, L., Ortiz Álvarez, M.I., González Sánchez, J., Negrete Fernández, G., Gabriel Morales, J., Márquez Huitzil, R., Nieda Manzano, T., Jiménez Rosenberg, R., Muñoz López, E., Ocaña Nava, D., Juárez Aguirre, E., Anzaldo Gómez, C., Hernández Esquivel, J.C., Valderrama Campos, K., Rodríguez Carranza, J., Campos Campuzano, J.M., Llamas Cruz V.H. & Camacho Ramírez, C.G. (2004) *Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio*, Instituto Nacional de Ecología, 1ed, México

Peñuelas J., Filella I. & Comas P. (2002) Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology*, 8:531-544.

Peñuelas, J., Sabaté, S., Filella, I. & Gracia, C. (2008) Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres: observación, experimentación y simulación. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente. Organismo Autónomo de Parques Nacionales Madrid, España. 425-460

PEPNB (2011) Plan Estratégico del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad 2011-2017. Ministerio de Medio Ambiente. Organismo Autónomo de Parques Nacionales Madrid, España

Pimentel, D., McNair, M., Back, L., Pimentel, M. y Kamil, J. 1997. The value of forests to world's food security. *Human Ecology* 25: 92-120.

PNACC (2014) Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Tercer Programa de Trabajo. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. 57.

Polanco, C. (2006) Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones. *Gestión y ambiente*, Universidad Nacional de Colombia, Medellin, Colombia. 9(2):27-41.

Quiroga Martínez, R. (2009) Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. *Serie de manuales*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile. 61:129

Recatalá-Boix, L., Añó-Vidal, C., Valera-Lozano, A., & Sánchez-Díaz, J. (2009) Sistema de indicadores para evaluar la calidad ambiental y la desertificación en la Comunidad Valenciana. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (50)

Rey, J.M. (1941) Proyecto de la 1ª Revisión de la Ordenación del Monte de la provincia de Segovia Pinar de Valsaín. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Término municipal de San Ildefonso de La Granja, España.

Rey, J.M. (1948) Proyecto de la 2ª Revisión de la Ordenación del Monte de la provincia de Segovia Pinar de Valsaín. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Término municipal de San Ildefonso de La Granja, España.

Rey, J.M. (1959) Proyecto de la 3ª Revisión de la Ordenación del Monte de la provincia de Segovia Pinar de Valsaín. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*. Término municipal de San Ildefonso de La Granja, España.

Rodríguez G. (2015) Red Natura 2000, parte de la solución para la adaptación al cambio climático. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 1:457-461.

Royuela, M. (2001) Los Sistemas de Indicadores Ambientales y su Papel en la Información e Integración Del Medio Ambiente, *I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente 2001*, pp. 1231-1256.

Ruiz Pérez, M., Fernández, C.G. & Sayer, J.A., (2007) Los servicios ambientales de los bosques. *Revista Ecosistemas*, 16(3):81-90.

Ruiz-Benito, P., Ratcliffe, S., Zavala, M. A., Martínez-Vilalta, J., Vilà-Cabrera, A., Lloret, F., Madrigal-González, J., Wirth, C., Greenwood, S., Kändler, G., Lehtonen, A., Kattge, J., Dahlgren, J., Jump, A.S. (2017). Climate-and successional-related changes in functional composition of European forests are strongly driven by tree mortality. *Global change biology*, 23(10):4162-4176.

Sánchez-Salguero, R., Navarro-Cerillo, R.M., Camarero, J.J., Swetnam T.W, Zavala, MA. & Fernández-Cancio A. (2012a) Is drought the main decline factor at the rear edge of Europe? The case of southern Iberian pine plantations. *Forest Ecology and Management*, 271:158-169

Sánchez-Salguero, R., Navarro-Cerrillo, R.M., Camarero, J.J., & Fernández-Cancio, Á. (2012b) Selective drought-induced decline of pine species in southeastern Spain. *Climatic Change*, 113: 767-785.

Sánchez-Salguero, R., Navarro-Cerrillo, R.M., Camarero, J.J., Fernández-Cancio, A., Swetnam, T.W., & Zavala, M.A. (2012c) Vulnerabilidad frente a la sequía de repoblaciones de dos especies de pinos en su límite meridional en Europa. *Revista Ecosistemas*, 21(3):31-40.

Svoboda, M., Hayes, M. & Wood, D. (2012) Guía del usuario sobre el Índice normalizado de precipitación. *Organización Meteorológica Mundial OMM*. 1090:15. Ginebra.

Tíscar, P.A., García-Abril, A.D., Aguilar, M. & Solís, A. (2015). Gestión Forestal Próxima a la Naturaleza: potencialidades y principios para su aplicación en los pinares de montaña mediterráneos como medida de adaptación al cambio climático. *Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático: impactos, vulnerabilidad y adaptación en España*, Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 1:555-564.

Valdés, C.M. (1997) Estudio Histórico-Selvícola del Monte de Valsaín (Siglos XVI-XX) Informe inédito. *Organismo Autónomo Parques Nacionales (OAPN). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAPAMA*, España, pp, 498.

Vericat Grau, P. & Piqué Nicolau, M. (2013) Factores ambientales que afectan al crecimiento de las cuatro principales especies de coníferas en Cataluña. *Congreso Forestal Español*. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Vitoria, España 6:13

Vilà-Cabrera, A., Galiano, L. & Martínez-Vilalta, J. (2015) Vulnerabilidad de los bosques ibéricos de pino albar ante el cambio climático. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 1:283-293.

Vilà-Cabrera, A., Matínez-Vilalta, J., Vayreda, J. & Retana, J. (2011) Structural and climatic determinants of demographic rates of Scots pine forest across the Iberian Peninsula. *Ecological Applications* 21:1662-1672.

Villanueva, J.A. (2005). Tercer inventario forestal nacional (1997–2007). Ministerio de Medio Ambiente, ICONA, Madrid.

Zandersen, M. & Tol, R.S. (2009). A meta-analysis of forest recreation values in Europe. *Journal of Forest Economics*, 15(1-2):109-130.

Zavala, M.A., Ruiz-Benito, P., Benito-Garzon, M. & Garcia-Valdes, R. (2015) Aplicación de los Modelos de Distribución de Especies (MDE) para el análisis de los efectos del cambio climático en los bosques ibéricos. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 1:419-432.

Anexo I. Metodología para el desarrollo de indicadores en Valsaín

La información utilizada para la obtención de los datos climáticos aplicados al monte de Valsaín: i) los datos históricos de precipitación y temperatura de la base de datos históricos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) de la estación del Puerto de Navacerrada para el periodo 1947-2017; ii) datos de número y superficie afectada por incendios de las Memorias Anuales de Actividades del Centro de Montes y Aserradero de Valsaín para el periodo 2006-2017)

La información utilizada para los indicadores de estado y respuesta: i) datos de crecimiento y defoliación de las revisiones de los Planes de Ordenación del Pinar de Valsaín; ii) datos de especies amenazadas del Catálogo del parque de Sierra de Guadarrama; iii) la información de espacios protegidos de la Memoria anual de actividades del Centro Montes y Aserradero de Valsaín Año 2017, el Estudio Histórico-Selvícola del Monte de Valsaín (Siglos XVI-XX) y datos para la realización cartográfica de Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y European Environment Agency (EEA)

El indicador sequía se ha definido calculando la precipitación media anual (mm, calculada a partir de datos diarios) y los años secos (i.e. valores por debajo de la resta entre la media y la desviación estándar del periodo completo, ver método similar usado para el índice estandarizado de precipitación Svoboda *et al*, 2012). La temperatura se ha definido calculando la temperatura media máxima anual (°C, calculada a partir de datos diarios). Los resultados se representan en un gráfico combinado en donde las barras representan la precipitación (con los años secos destacados en un color diferente) y un diagrama lineal representa la temperatura. Los datos de incendios forestales se han calculado a partir de los datos de superficie afectada y el número de incendios ocurridos en ese año encontrados en las fuentes citadas (es necesario convertir los datos a hectáreas para poder interpretarlos). Los datos se representan en un gráfico combinado en donde el diagrama de barras representa la superficie afectada en hectáreas y el diagrama lineal el número de incendios.

Los datos de crecimiento ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$) se han obtenido de datos estadísticos de las ordenaciones forestales. El proceso de cálculo se ha realizado teniendo

en cuenta que los datos encontrados se encuentran a nivel de cuartel (unidad de división forestal). El crecimiento (volumen de madera en una hectárea por año $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$) se calcula utilizando los datos de volumen de madera (m^3) y aprovechamiento (m^3) en un año y la superficie (ha) de cada cuartel.

El volumen total (VOLt) se calcula sumando el volumen de madera en el monte (VOL, m^3) con el volumen extraído del monte (aprovechamiento, Aprov, m^3).

$$VOLt = VOL + Aprov$$

Posteriormente, el valor se relativiza a la hectárea:

$$\text{Crecimiento} = VOLt / \text{superficie del cuartel}$$

Una vez calculado los valores de crecimiento ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$) de cada cuartel, se realiza una suma del crecimiento de los datos todos los cuarteles estudiados para obtener el crecimiento del conjunto. Los resultados se representan en un diagrama de barras.

Los datos de defoliación se han recogido de las listas de datos estadísticos disponibles en la 7ª Ordenación del Pinar de Valsaín (periodo 2002-2008) y en la memoria anual del año 2017. Los datos se representan en un diagrama de barras que muestra el porcentaje de defoliación anual.

Los datos de mortalidad se han calculado a partir de la información del segundo y tercer Inventario Forestal Nacional y se encontraban disponibles para el Monte de Valsaín. La mortalidad (%) para cada parcela se ha calculado como el área basal perdida por los árboles muertos respecto al área basal total de la parcela. Para calcular el valor de la mortalidad total en el pinar se han tenido en cuenta los datos de 76 parcelas en la que se encuentra la especie *Pinus sylvestris*.

Al no existir de información respecto a flora que hay en el Monte de Valsaín, los datos de especies amenazadas se ha utilizado el Catálogo del parque de Sierra de Guadarrama. De allí se han sacado las especies que se encuentran citadas en el Monte y las especies que se encuentran en la Zona Periférica de Protección ya que son las que tienen mayor probabilidad de encontrarse dentro de la zona de estudio.

La cartografía del indicador de espacios naturales protegidos se calculó a partir los datos del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y European Environment Agency (EEA), las capas venían en formato vectorial. Del CNIG se utilizó la capa “líneas límite municipales” (CNIG, 2015), del EEA se han utilizado las capas de i) Nationally designated areas (CDDA; EEA, 2018a) ii) Natura 2000 data - the European network of protected sites (EEA, 2018b)