

Con el apoyo de:



20
AÑOS



- La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa-

Con el apoyo de:



La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa

Realizado a través del proyecto *La certificación forestal como instrumento de gestión forestal adaptativa* realizado con el apoyo del Ministerio para la Transición Ecológica, a través de la Fundación Biodiversidad, y coordinado por FSC España y la Universidad de Alcalá.

Coordinadores

Miguel Ángel de Zavala Gironés
Silvia Martínez

Autores principales

Patricia González Díaz
Paloma Ruiz Benito

Autores contribuyentes

Marcos Estevez Malvar
Asier Herrero Méndez
Pedro Tíscar Olivares
Valentín Badillo
Javier Donés
Enrique Andivia Muñoz
Jaime Madrigal González
Albert Vilá Cabrera
Raúl Sánchez Salguero

Con el apoyo de:



20
AÑOS



Tabla de contenido

DOCUMENTO DE REFERENCIA

1. Marco teórico	6
1.1 Introducción al cambio climático	7
1.1 Adaptación al cambio climático	8
1.2 Adaptación, vulnerabilidad e impacto	9
1.3 Evaluación del riesgo	11
1.4 Indicadores de adaptación al cambio climático (ACC)	12
Indicadores de peligro, vulnerabilidad, adaptación e impacto	16
Indicadores troncales, complementarios y candidatos	16
Indicadores de proceso y de resultado	16
Enfoque jerarquizado en el uso de indicadores	17
2. Metodología del sistema de selección de indicadores	18
2.1 Sistema de identificación e implementación de indicadores ACC	19
Selección deductiva de indicadores	14
Evaluación, validación y selección participativa de indicadores	17
2.2 Bases de datos	24
Muestreos de campo	24
Datos de ordenaciones de montes e inventarios forestales	24
Datos de dendrocronología	24
Datos de modelización	24
2.3 Tipos de masas forestales	25
2.4 Identificación preliminar de los indicadores	26
Indicadores troncales	30
Indicadores complementarios	63
Indicadores candidatos	75
2.4 Sistema de evaluación de los indicadores	79
Referencias	82
Anexo 1- Entrevista gestores	90
Anexo 2- Fichas indicadores troncales	94
Anexo 3- Glosario de términos	100

Con el apoyo de:



20
AÑOS



APLICACIÓN CASOS DE ESTUDIO

1. Descripción general de los casos de estudio	3
1.1 Montes de Valsaín.....	5
Resultados de los indicadores.....	10
1.2 Navahondona.....	23
Resultados de los indicadores.....	28
1.3 Barrantes.....	40
Resultados de los indicadores.....	43
2. Resumen de resultados de los indicadores	53
Anexo 1 Especificaciones metodológicas para el cálculo de indicadores.	59

Con el apoyo de:



20
AÑOS



DOCUMENTO DE REFERENCIA

*-La certificación forestal FSC como instrumento de
gestión forestal adaptativa-*

Con el apoyo de:



20
AÑOS



PARTE 1

MARCO TEÓRICO

-La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa-

1.1 Introducción al cambio climático

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, con sus siglas IPCC en inglés (Intergovernmental Panel on Climate Change), creado en 1988, refuerza en su quinto informe de evaluación (IPCC, 2014) los principales resultados de informes previos (i.e. IPCC 2007). En dicho informe se muestran evidencias de cómo la atmósfera y los océanos se han calentado (Figura 1), así como que las cantidades de nieve y hielo se han reducido, mientras que el nivel del mar y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado. El informe concluye que el Cambio Climático (CC) es inequívoco y que muchos de los cambios observados desde mediados del siglo XX no tienen precedentes en la historia de la Tierra. El IPCC (2014) advierte que, si las emisiones de gases de efecto invernadero continúan al mismo ritmo que lo hacen actualmente, los efectos del CC irán en aumento al menos durante las próximas décadas. Además, se prevé que el aumento de la temperatura esté acompañado por una alteración en los patrones de la precipitación y por un aumento en la frecuencia de los eventos extremos (i.e. lluvias torrenciales, olas de calor o sequías intensas). Según el IPCC el CC puede deberse a procesos naturales internos, forzamientos externos (p. ej. erupciones volcánicas o alteraciones en los ciclos solares) o cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso del suelo (IPCC, 2014). Sin embargo, la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático delimita el uso del término CC para aquellas variaciones climáticas atribuidas directa o indirectamente a la actividad humana que alteran la composición global de la atmósfera.

El CC puede causar impactos en la fisiología, fenología y demografía de muchas especies forestales, pudiendo alterar la composición, estructura y funcionamiento de los mismos, lo que a su vez puede afectar a los servicios ecosistémicos que éstos proveen a la sociedad (Allen & Breshears 1998, Anderegg et al. 2013, Ruiz-Benito et al. 2017). En este contexto, las estrategias de mitigación y adaptación de los bosques al CC jugarán un papel fundamental para responder a los desafíos que plantea el CC (IPCC, 2007, 2014). La mitigación hace referencia a aquellas acciones cuyo propósito sea atenuar las causas del CC, principalmente las emisiones de gases de efecto invernadero y la reducción de las concentraciones de CO₂ de la atmósfera (p.ej. incrementar la superficie forestal para aumentar la captura de carbono). Por otro lado, la adaptación hace referencia a acciones orientadas a reducir los impactos previstos del CC y favorecer el ajuste de ecosistemas y organismos a las nuevas condiciones

climáticas (i.e. cambios en planes y prácticas de gestión forestal para favorecer la tolerancia a condiciones de sequía).

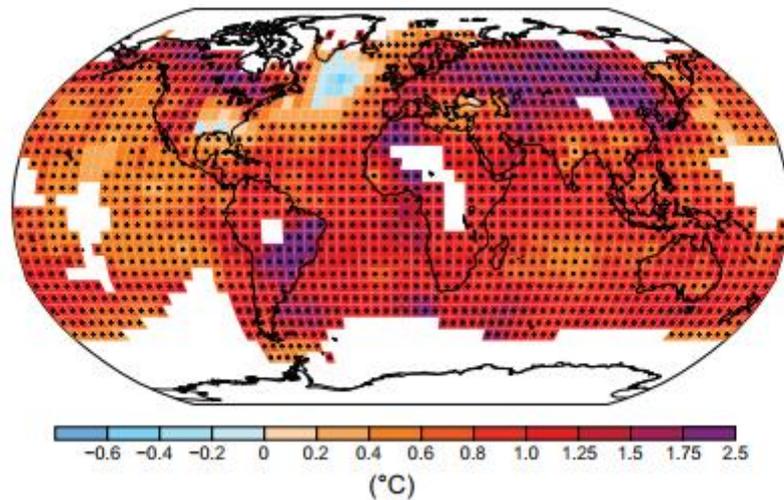


Figura 1. Cambio observado en la temperatura en superficie desde 1901 hasta 2012 (IPCC, 2014).

1.2 Adaptación al cambio climático

La **Adaptación al Cambio Climático** (ACC) puede definirse como el proceso de ajuste de un sistema a los efectos del clima, tanto del clima actual como el de las proyecciones climáticas (IPCC, 2014). En los sistemas naturales la intervención humana puede modificar la respuesta de los bosques al cambio climático (p. ej. Vilá-Cabrera et al. 2018). Así, la ACC promueve la resistencia (fuerza ejercida por el sistema en sentido opuesto al cambio ejercido por una perturbación) y la resiliencia de un sistema (capacidad del sistema para recuperar su función y estructura después de una perturbación, Holling 1996). Para aplicar correcta y eficientemente medidas de ACC es necesario conocer el tipo y magnitud de los peligros relacionados con el CC a los que se enfrenta el sistema o su vulnerabilidad al CC. El concepto de vulnerabilidad tiene varios componentes: el grado de exposición de una determinada localidad o población (es decir, cómo le va a afectar un determinado peligro), la sensibilidad (depende del tipo de especie, genotipo, estructura de la masa, etc.) y la capacidad de adaptación (varía en función de la diversidad genética, capacidad de diseminación, aclimatación, etc., Linares et al. 2010).



Es importante distinguir la ACC de la capacidad de adaptación o **adaptación biológica** favorecida mediante procesos de selección natural y que opera a nivel de individuo (e.g. presencia de genotipos más resistentes a condiciones de CC, Sánchez-Salguero et al. 2018). Ante el CC las especies pueden adaptarse, migrar o extinguirse (Aitken et al. 2008, Dawson, 2011). Sin embargo, los bosques están formados por especies sésiles con una capacidad de dispersión limitada y ciclos de vida largos que pueden dificultar migraciones o adaptaciones rápidas a las variaciones ambientales (Jump & Peñuelas, 2005, Jump et al. 2006). Por ello, la **adaptación biológica** es una componente de la vulnerabilidad de un sistema u organismo al cambio climático y puede incrementar la resistencia de las poblaciones de una determinada especie a los impactos (Alfaro et al. 2014, Cavers & Cottrell 2014, Fady et al. 2016a). Sin embargo, es un proceso diferente de la ACC, la cual conlleva una acción humana mediante estrategias y acciones de gestión.

Ante los impactos que el cambio climático está causando en los bosques surge el presente proyecto donde proponemos un sistema de indicadores de ACC. Con ellos establecemos una metodología para hacer un seguimiento en los bosques de los *impactos* del CC, de su *vulnerabilidad* ante los efectos del cambio climático y de la eficacia de las medidas de *adaptación* que los gestores vayan implementando. Además, el proyecto ayuda a priorizar medidas de mejora y gestión de ACC en bosques mediante la identificación y desarrollo de indicadores de alerta temprana y de seguimiento. La implementación del sistema de indicadores en montes concretos persigue ser un pilar de la denominada **gestión adaptativa**, que implica un seguimiento por parte de los gestores de los efectos de las medidas aplicadas, con el objetivo de modificarlas si fuese necesario e incrementar el conocimiento empírico de los sistemas forestales. Este es por tanto un proyecto pionero en el que se pretende llevar a cabo un proceso de ACC con el concurso de la gestión adaptativa y la certificación forestal, así como iniciativas de ciencia ciudadana.

Para la implementación del sistema de indicadores de ACC hemos seleccionado tres montes ordenados y certificados por FSC y con planes de ordenación vigentes, lo podría facilitar la implementación de medidas de ACC y gestión adaptativa: (1) Montes de Valsaín (Segovia), Monte de Navahonda (Cazorla) y Monte de Barrantes (Pontevedra).

1.3 Adaptación, vulnerabilidad e impacto

Peligro

Los peligros o inductores derivados del CC (acaecimiento potencial de un suceso o tendencia físico que puede causar daños en un determinado sistema, p.ej. sequías, olas de calor o tormentas) tienen efectos sobre la práctica totalidad de sectores económicos y ámbitos socio-ambientales (IPCC, 2014) de España, y especialmente en los sistemas forestales. La consideración de estos peligros es clave para la definición de la adaptación, vulnerabilidad e impacto, y para el desarrollo de una valoración integral del proceso de la adaptación en los sistemas forestales

Adaptación

La ACC hace referencia al proceso de ajuste de un sistema a los efectos del clima (IPCC, 2012, Herrero & Zavala, 2015). La capacidad de adaptación de un sistema forestal es dinámica, y depende no sólo de aspectos intrínsecos del sistema (i.e. composición genética de los individuos, diversidad, etc.), sino que, en algunos sistemas forestales la intervención humana puede facilitar el ajuste (Lindner et al. 2010, 2014). Por ello, la capacidad de adaptación de un sistema forestal podría ser entendida como una serie de ajustes en las prácticas, procesos y estructuras, para responder o anticiparnos a cambios en las condiciones ambientales.

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad climática es el grado de susceptibilidad de un ecosistema ante los efectos adversos del cambio climático, tanto cambios en la variabilidad climática media como en los extremos climáticos (Dawson et al. 2011, IPCC 2014). Esta vulnerabilidad puede influir de forma considerable en procesos demográficos como la mortalidad (Carnicer et al. 2011; Ruiz-Benito et al. 2013a, Camarero et al. 2015) o la regeneración (e.g. Matías et al. 2011), así como en funciones ecosistémicas como el almacenamiento y la fijación de carbono, entre otros. En concreto, la vulnerabilidad depende de tres componentes: la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación (Dawson et al. 2011, Ruiz-Benito et al. 2013a, ver Figura 2).

La **exposición** hace referencia a la severidad del cambio climático que es probable que experimente un ecosistema en un determinado lugar, y depende del grado y la magnitud del cambio en el clima (Dawson et al. 2011). La **sensibilidad** indica el grado al cual a un sistema u organismo lo afectan -de manera adversa o beneficiosa- los estímulos relacionados con el clima. Estos efectos pueden estar relacionados con el crecimiento, la reproducción, el reclutamiento o la supervivencia de un organismo, población o ecosistema (Dawson et al. 2011). La **capacidad de adaptación** indica la capacidad de ajuste de los sistemas naturales o humanos como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que puedan moderar el daño o aprovechar sus efectos beneficiosos (Dawson et al. 2011).

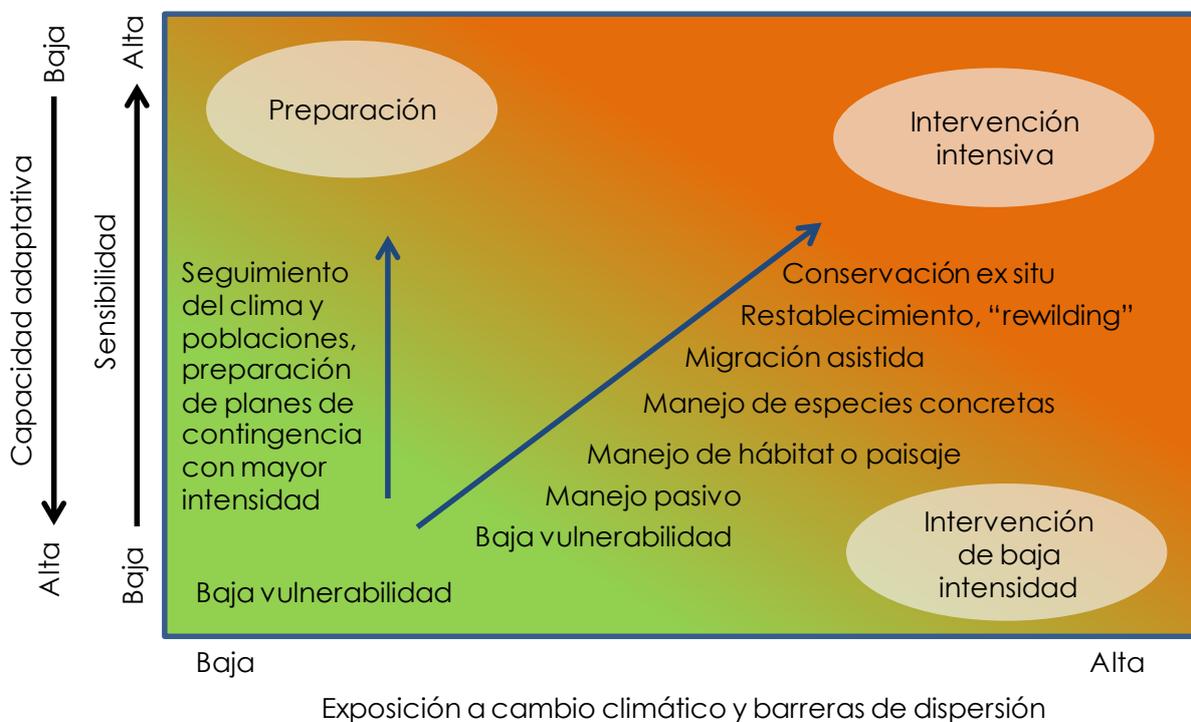


Figura 2. La vulnerabilidad de una especie o ecosistema está basada en su exposición al cambio climático (eje X), su capacidad de adaptarse y su sensibilidad a dicho cambio en el clima (eje Y). Modificado de Dawson et al. (2011).

Impacto

El impacto puede ser definido como un efecto específico y cuantificable en los sistemas naturales atribuible, al menos en parte, al cambio climático (Herrero & Zavala 2015). Por ejemplo, los procesos de mortalidad arbórea asociados a eventos de sequía extrema serían un impacto del cambio climático, ya que la frecuencia e intensidad de las sequías están aumentando en el actual contexto de cambio climático.

1.4 Evaluación del riesgo

A todas estas definiciones habría que sumar el riesgo, ya que el cambio climático plantea distintos riesgos dependiendo del cambio esperado. El cambio climático conlleva interacciones complejas y cambios en el efecto del impacto en el ecosistema, cuya focalización puede ayudar a la toma de decisiones en el contexto del cambio climático (IPCC, 2014).

1.5 Indicadores de Adaptación al Cambio Climático

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) define un indicador como un parámetro, o el valor resultante de un conjunto de parámetros, que proporciona información para describir el estado de un fenómeno, con un significado más amplio que el estrictamente asociado al propio parámetro. En concreto, los indicadores ambientales hacen referencia a parámetros o variables, que reflejan el estado del medio ambiente o de algún aspecto de él, para un punto espacial y temporal determinados. Así pues, los indicadores de adaptación al cambio climático (ACC) son una serie de parámetros o variables que pretenden mostrar evidencias del grado de adaptación de un organismo o ecosistema al cambio climático. Este sistema de indicadores ACC pretende ser una herramienta dentro del ciclo de gestión adaptativa (ver Figura 3), que identifique la presencia o ausencia de mecanismos de adaptación y mediante una serie de medidas posteriores facilite la adaptación de los organismos vivos, así como de las diferentes funciones y procesos del sistema en el que viven (Aspizua et al. 2010).

La adaptación al cambio climático es un proceso complejo desde el punto de vista ecológico, ya que implica procesos no lineales, estocásticos, jerarquizados y que operan a varias escalas espaciales y temporales. Por ello, un mecanismo de evaluación y seguimiento como el que pretende llevar a cabo el sistema de indicadores de Adaptación al Cambio Climático (ACC) es crítico para poder establecer un diagnóstico temprano del estado y evaluar los impactos y la vulnerabilidad potenciales, así como el grado de adaptación de los ecosistemas forestales; que permitan diseñar y establecer estrategias de gestión adecuadas en el caso de ser necesarias, que faciliten dichos procesos de adaptación y minimicen los impactos y la vulnerabilidad futuras.

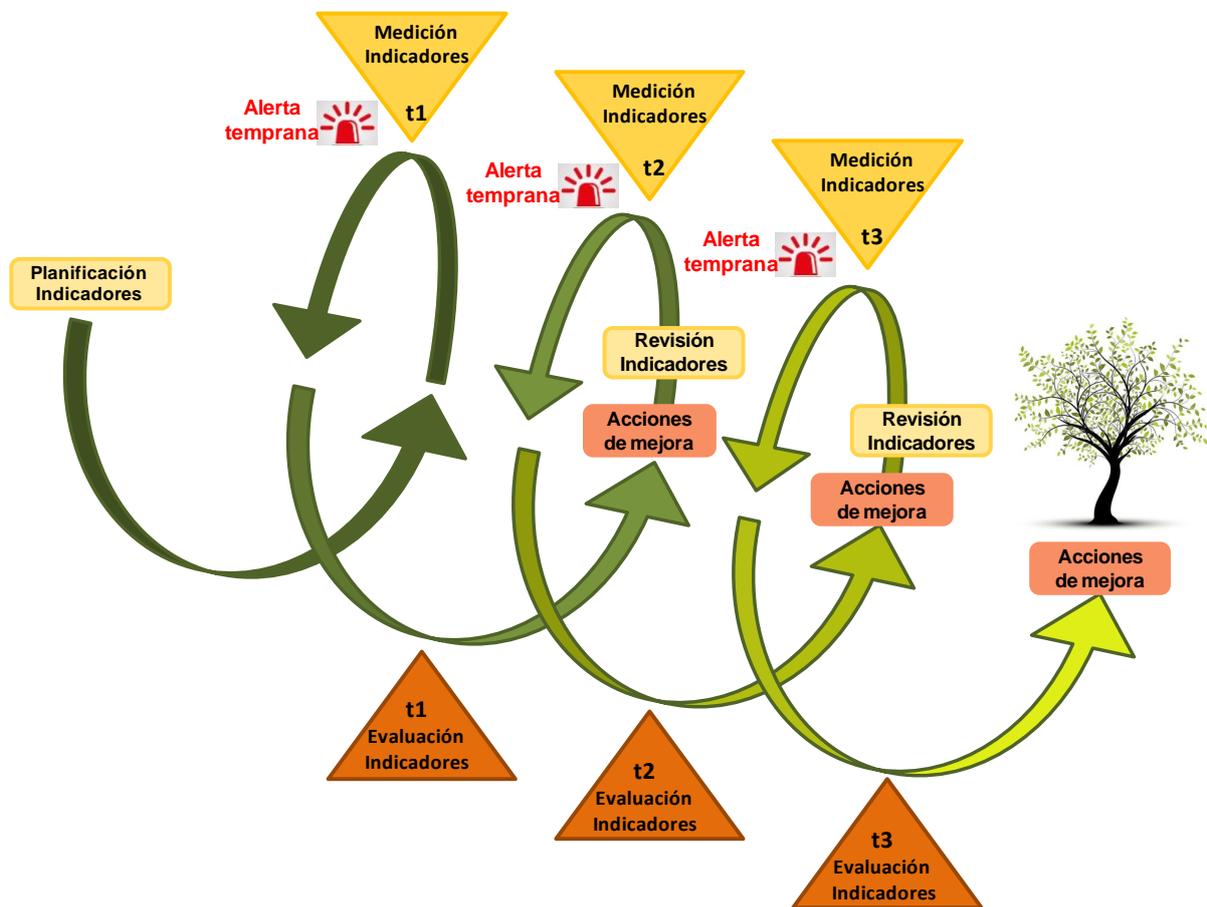


Figura 3. Esquema que representa el sistema gestión adaptativa. Este sistema se implementa mediante un sistema iterativo que combina la planificación, medición y evaluación de indicadores ACC que pueden servir como mecanismo de alerta temprana frente a impactos, y, la implementación de medidas de mejora y revisión de indicadores ACC en diferentes momentos temporales (t1, t2, tn). Elaboración propia.



La selección de indicadores, y su posterior evaluación, tiene el objetivo de aportar información que ayude a: (1) identificar la vulnerabilidad de los sistemas forestales, teniendo en cuenta los peligros, la vulnerabilidad, la adaptación y los impactos del cambio climático del bosque a evaluar, (2) apoyar la toma de decisiones sobre las medidas o acciones de adaptación a implementar en un determinado sistema forestal certificados por FSC en España. Por tanto, el sistema de indicadores planteado en el presente estudio pretende:

- Identificar líneas prioritarias para medir y evaluar parámetros clave sobre impactos presentes o riesgos futuros provocados o agravados por el cambio climático, así como generar información sobre la eficacia y eficiencia de las acciones de ACC.
- Crear un proceso sencillo pero robusto de compilación de información básica para la evaluación de la adaptación de los ecosistemas al cambio climático. Para ello se parte de indicadores que ya son usados y evaluados en otros sistemas, para hacer factible su implementación a corto plazo con mínimos recursos adicionales.
- Crear un proceso dinámico y adaptativo de implementación y actualización del sistema de indicadores iniciales, que pueda ir completándose y actualizándose a medida que se desarrolle y se disponga de más información sobre los impactos en los sistemas forestales y las posibles medidas de adaptación a implementar.
- Identificar indicadores clave que sirvan como mecanismos de alerta temprana frente a impactos y que permitan marcar pautas para el desarrollo de líneas y medidas de actuación, con el objetivo de desarrollar propuestas para un futuro plan de adaptación independiente o integrado en estrategias de mitigación del cambio climático.

Clasificación de los indicadores ACC

Los indicadores ACC utilizados en este documento se clasifican en grupos en base a diferentes criterios que se especifican a continuación (ver Figura 2):

- (i) Aspectos relevantes para la adaptación al cambio climático de los sistemas forestales (IPCC 2011, 2014): indicadores de peligro, de impacto (efecto específico y cuantificable del CC), de vulnerabilidad (susceptibilidad al CC en función de la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación) y medidas de adaptación (intervención humana que busca facilitar el proceso de ajuste al CC) (ver definición completa de términos en Anexo 3, Glosario de términos).
- (ii) Grado de complejidad, disponibilidad y accesibilidad a datos: indicadores troncales (indicadores directos de aspectos relevantes de adaptación al CC que sean rigurosos, robustos, fáciles de obtener y que permiten su medición periódica), complementarios (indicadores indirectos de aspectos relevantes de adaptación al CC que sean rigurosos, robustos, fáciles de obtener y que permiten su medición periódica), y candidatos (indicadores de adaptación al CC que puede conllevar complejidad técnica, metodológica y/o económica).
- (iii) Parte del proceso que evalúan (EEA 2014, Mant 2001): indicadores de proceso (evalúan la puesta en marcha de medidas o acciones, e.g. creación de cortafuegos en control de incendios) o resultado (evalúan la puesta en marcha de medidas en función del producto o resultado, e.g. pérdida de masa forestal en control de incendios).

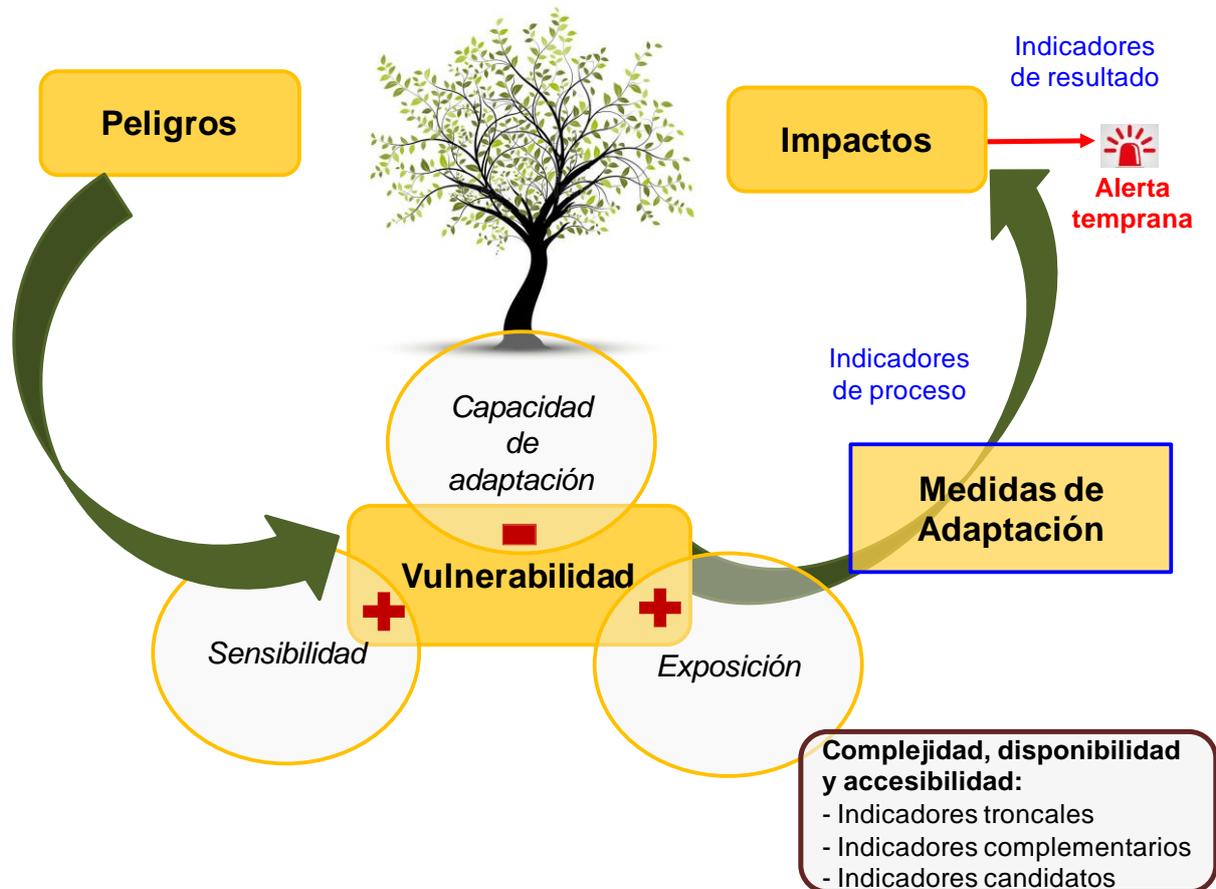


Figura 4. Marco conceptual del sistema de clasificación de los indicadores para determinar el grado de adaptación de la masa forestal al cambio climático. En él se determinan indicadores de aspectos relevantes para la adaptación al cambio climático (cuadros amarillos): subyacentes a la vulnerabilidad (capacidad de adaptación, sensibilidad y exposición), condicionados por una serie de peligros y su efecto o impacto sobre los individuos, especies, poblaciones o comunidades. Cabe destacar la priorización de indicadores de alerta temprana de impactos de CC. La vulnerabilidad e impactos futuros podrían ser modificados en base a medidas de adaptación, evaluadas mediante indicadores de proceso o resultado. Se muestra si la correlación entre la vulnerabilidad y la componente es positiva (+) o negativa (-). Los indicadores podrán ser además troncales, complementarios o candidatos en base a su complejidad, disponibilidad de datos y accesibilidad.

Indicadores de peligro, vulnerabilidad, adaptación e impacto

Los indicadores de peligro, vulnerabilidad, adaptación e impacto miden atributos que responden a cada uno de estos procesos relacionados con el cambio climático.

Indicadores troncales, complementarios y candidatos

Los indicadores pueden ser clasificados en tres tipos, dependiendo de su rigurosidad, así como de la disponibilidad y accesibilidad de los datos a utilizar (EEA 2014).

Los **indicadores troncales** son indicadores rigurosos porque miden atributos recomendados por la bibliografía especializada y expertos en la temática, y por tanto son capaces de medir los impactos, peligros, vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático de una manera directa (EEA, 2014, Zavala et al. 2017). Se trata de indicadores robustos, fáciles de obtener, que permiten su medición periódica.

Los **indicadores complementarios** son igual de robustos que los indicadores troncales, pero miden los peligros, impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático indirectamente (e.g. económicos, demográficos, etc.). Por otro lado, de forma ideal los indicadores complementarios deben formar parte del sistema y ser considerados para la evaluación de los indicadores troncales, ya que aportan una importante información contextual para la adaptación (EEA 2014, Zavala et al. 2017). Los indicadores complementarios pueden contar con datos actualmente disponibles para su cálculo en los ecosistemas forestales (i.e. datos de ordenaciones forestales o datos de inventario) o requerir de su medición en el campo, aunque son ligeramente más complejos de obtener que los troncales desde el punto de vista técnico, metodológico y/o económico.

Los **indicadores candidatos** son aquellos que no forman parte inicialmente de los indicadores troncales o complementarios del sistema, pero que pueden entrar a futuro a formar parte de éste (EEA 2014, Zavala et al. 2017). Generalmente son datos que no se encuentran disponibles y que su adquisición puede conllevar cierta complejidad técnica, metodológica y/o económica.

Indicadores de proceso y de resultado

Los indicadores pueden ser igualmente clasificados en indicadores de proceso o de resultado, dependiendo de que evalúen la puesta en marcha de una medida de acción o bien evalúen los efectos que esta medida tiene sobre el sistema de estudio (EEA 2014, Mant 2001).



Los **indicadores de proceso** evalúan el sistema para identificar la puesta en marcha de medidas o acciones (e.g. evaluar la implementación de planes de gestión para el control de incendios en una masa forestal, o la construcción de cortafuegos, Mant 2001).

Por otro lado, los **indicadores de resultado** evalúan explícitamente el producto o resultado centrado en la efectividad de medidas o decisiones tomadas a corto y largo plazo (Mant 2001) (e.g. evaluar la tendencia de pérdidas económicas y/o ecológicas en una masa forestal debidas a los incendios).

Enfoque jerarquizado en el uso de indicadores de Adaptación al Cambio Climático

Los indicadores ACC pueden evaluar parámetros o variables a diferentes niveles jerárquicos, como el individuo, población o ecosistema. Cada uno de estos niveles permitirá obtener diferente información sobre el grado de adaptación del bosque o rodal.

Por ejemplo, las condiciones prolongadas de sequía e incremento de la temperatura podrían provocar la mortalidad de aquellos individuos o especies menos tolerantes a la sequía (Sánchez-Salguero & Navarro-Cerrillo 2012). Por otro lado, a nivel de población, el aumento de las temperaturas y prolongación de las sequías podría provocar una reducción en el reclutamiento o cambios en la distribución de las especies (Mendoza et al. 2009). Por ejemplo, el uso de modelos de distribución de especies permite detectar cambios en la distribución a nivel de poblaciones e incluso a nivel de ecosistema (Benito-Garzón et al. 2011).

Con el apoyo de:



Parte 2

METODOLOGÍA DEL SISTEMA DE INDICADORES

- La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa-

2.1 Sistema de identificación e implementación de indicadores de Adaptación al Cambio Climático

El sistema de identificación e implementación de los indicadores ACC, es un proceso circular, transparente, revisable y actualizable dentro del ciclo de la gestión adaptativa (ver Figura 4). La identificación de los indicadores ACC se realiza en dos fases. La primera consiste en una selección deductiva de indicadores en base al conocimiento previo, donde se identifican aquellos elementos relevantes para la adaptación de los sistemas forestales. La segunda fase valida mediante un panel de expertos o encuestas con gestores los indicadores ACC y selecciona aquellos más significativos para la adaptación de los sistemas forestales en el monte de estudio en base a sus características ambientales (i.e. clima, geología, etc.), especies dominantes (i.e. pinar, robledal, etc.) o el tipo de masa forestal (i.e. natural, ordenada, público, privado, etc.). Una vez identificados los indicadores para cada monte de estudio se procede a su implementación en campo, o a su cálculo mediante información existente cuando esto se requiera (i.e. datos de ordenaciones forestales), seguida de una propuesta de acciones de mejora que serán idealmente llevadas a cabo con el fin de mejorar la adaptación de los sistemas forestales al cambio climático. La evaluación periódica de los indicadores permitirá realizar un seguimiento del indicador y de las medidas llevadas a cabo. Con el tiempo el proceso de selección de indicadores podrá ser actualizado, respondiendo a las prioridades del momento (Figura 4).

A continuación, se describen en mayor detalle cada una de las fases del sistema de identificación de indicadores ACC.

Selección deductiva de indicadores ACC

Para la identificación de los principales indicadores ACC de los sistemas forestales se ha utilizado un enfoque basado en los elementos relevantes para la adaptación. Este enfoque se adopta debido a las múltiples interacciones entre los elementos que toman parte en la adaptación de un organismo o sistema, lo que determina que un indicador pueda depender de más de un ámbito o sector, o que indicadores de ámbitos o sectores diferentes estén interrelacionados. Por tanto, los principales elementos relevantes para la adaptación de los sistemas forestales pueden clasificarse en cuatro bloques principales que se describen a continuación (ver Figura 4).

Identificación de peligro ante el cambio climático: Son los cambios producidos en variables climáticas, identificados según la nomenclatura del IPCC como “peligros”, tanto presentes como proyecciones para este siglo (IPCC, 2014). Los indicadores utilizados para su medición requieren de series largas de observaciones que aumenten progresivamente la calidad de los datos permitiendo su comparación con series históricas y modelos fiables respectivamente. Una de sus ventajas es que se trata de datos comparables a nivel nacional, europeo e internacional sobre el cambio a distintas escalas de análisis. Estas series temporales son igualmente necesarias para validar los modelos climáticos regionalizados y reducir su incertidumbre por iteración.

Identificación de impactos potenciales: Hacen referencia a la respuesta del sistema presente y/o esperada para este siglo, atribuibles o agravados por el cambio climático en sistemas forestales. El establecimiento de indicadores de impacto es clave para dotar a los gestores del sistema de indicadores y de herramientas para el diseño progresivo y adaptativo de medidas de adaptación y mitigación en base a los impactos.

Identificación de la vulnerabilidad de los sistemas forestales: Hace referencia a la sensibilidad de los sistemas naturales. La vulnerabilidad incluye variables no siempre modificables mediante un plan de adaptación, pero que deben ser incorporadas al sistema de indicadores ya que suponen un elemento fundamental que influye en las medidas de adaptación a implementar.

Identificación de prioridades de adaptación: Hacen referencia a las medidas de adaptación al cambio climático propuestas para reducir la generación de impactos y la vulnerabilidad, y las propuestas para aumentar la resiliencia de los sistemas y sectores de un territorio concreto en un determinado espacio temporal. La adaptación o respuesta se mide a través de indicadores que realizan el seguimiento de los procesos y resultados (indicadores de proceso y resultado) respecto al objetivo de transitar de sistemas y sectores vulnerables al cambio climático a sistemas y sectores resilientes. Las medidas de adaptación al cambio climático deben tener un carácter i) adaptable al dinamismo de los indicadores de peligro, de impacto y vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad de respuesta) que forman parte del sistema de indicadores; ii) multidisciplinar y multisectorial, abarcando la coordinación entre agentes clave de los distintos sectores implicados en la adaptación al cambio climático; y iii)

transdisciplinar, incluyendo procesos de implementación que den espacio a la participación pública por parte de agentes de interés, lo cual puede traducirse en indicadores que midan la eficacia, eficiencia, legitimidad y equidad del proceso. En la Tabla 1 se describen los principales elementos relevantes para la adaptación identificados en los sistemas forestales.

Tabla 1. Elementos relevantes para la adaptación identificados para los sistemas forestales

Peligros	Impactos	Vulnerabilidad	Adaptación
Incremento futuro de las temperaturas medias	Descenso del reclutamiento de individuos	Cambios en las tasas de regeneración	Cambios en las prácticas de gestión
	Reducción en el crecimiento	Cambios en la distribución de especies	Reducción en la densidad de las masas o cambios en la relación tamaño-densidad
Incremento de las sequías	Descenso en la reproducción	Cambios en la distribución de la diversidad genética	Aumento de la diversidad funcional de las masas
	Aumento de la mortalidad	Cambios en la densidad	Aumento de la heterogeneidad de las masas
Incremento de los eventos extremos	Aumento de daños por plagas y enfermedades	Cambios en la estructura de edades	Aumento de la diversidad
Valores bajos de resiliencia			

Evaluación, validación y selección participativa de indicadores de Adaptación al Cambio Climático

Una vez identificados los indicadores más relevantes para la adaptación de forma deductiva, perteneciente a los cuatro grupos nombrados anteriormente (i.e. peligro, impacto, vulnerabilidad y adaptación) se procederá a un método de evaluación, validación y selección participativa. La evaluación participativa se define como una evaluación en la que los actores implicados en el proyecto, desde miembros de equipo del proyecto, expertos, gestores y hasta miembros de la población afectada, tienen una oportunidad para ofrecer sus comentarios y sugerencias sobre el proyecto y, si procede, para influir en su desarrollo y/o proyectos futuros. En concreto, para este segundo paso en la selección de indicadores se contará con

diferentes actores implicados en la gestión y toma de decisiones, y se hará uso de herramientas participativas, como reuniones de grupo o consultas con expertos, que permitan hacer observaciones y estimar el valor de cada uno de los indicadores. En concreto para este proyecto se ha procedido a realizar consultas participativas de varios tipos:

- Consultas con investigadores colaboradores involucrados en el proyecto, expertos en la materia de estudio. Estos investigadores colaboradores han validado parcialmente los indicadores propuestos previamente de forma deductiva y han colaborado en el diseño de los mismos. En concreto, se ha contado con la colaboración de Jaime Madrigal-González (Universidad Ginebra), Asier Herrero (U. País Vasco), Albert Vilá-Cabrera (U. Stirling), Raúl Sánchez Salguero (U. Pablo de Olavide), Alistair Jump (U. Stirling), Enrique Andivia (U. Alcalá), Pedro Tíscar (Centro Capacitación el Vadillo, Cazorla).
- Entrevistas con gestores de cada uno de los montes de estudio para adecuar el sistema de indicadores al monte de estudio en concreto (Ver protocolo para entrevistas con gestores en Anexo I).

Como resultado del proceso de selección participativa de los indicadores, nuevos indicadores pueden aparecer que no estaban previamente incluidos en el listado general resultante de la selección deductiva. Estos nuevos indicadores serán incluidos por lo tanto en este listado, el cual será actualizado periódicamente. De la misma manera aquellos indicadores propuestos inicialmente que no sean utilizados en los montes de estudio podrán ser descartados en el futuro.

Validación, evaluación y propuesta e implementación de mejoras

Una vez seleccionados los indicadores tras las consultas con investigadores y entrevistas a gestores se proceden a elaborar un diagnóstico con aquellos indicadores ACC más relevantes para cada uno de los sistemas forestales seleccionados. Se procederá a su toma de datos (en el caso de indicadores basados en muestreos de campo), y/o selección de datos (en el caso de indicadores basados en ordenaciones forestales). Con ellos se harán una serie de análisis para evaluar la tendencia de cada uno de ellos y en base a los mismos se propondrán una serie de medidas que ayuden a favorecer el grado de adaptación de la masa forestal al cambio climático.

Con el apoyo de:



Evaluación periódica del indicador

De forma periódica se revisará el sistema de indicadores por grupo de expertos y gestores que será ajustable a los cambios que pueden suceder en el clima o sistema de estudio. En los sucesivos procesos de selección de indicadores se aplicará un criterio de mínimos, donde al menos un indicador de cada categoría del listado general deberá ser aplicado en el monte de estudio.

2.2 Bases de datos

Para la medición de los indicadores ACC se hará uso de diferentes bases de datos, que permitan recoger la información más relevante de los procesos presentes y pasados influyentes en la adaptabilidad de los sistemas forestales. Dichas bases de datos se describen a continuación.

Muestreo de campo (MC): se realizarán muestreos de campo específicos para determinar los indicadores ACC. Los datos de campo serán tomados en cada uno de los montes de estudio, con los que se evaluará una serie de indicadores de impacto, vulnerabilidad y adaptación. Los muestreos de campo serán sencillos y factibles para su aplicación por gestores y técnicos del monte de estudio. En concreto, el MC será utilizado para determinar algunos de los indicadores troncales, complementarios y candidatos (ver Tablas 5, 6 y 7).

Datos de Ordenaciones de Montes (OM) o Inventario Forestal Español (IFN): estos datos se utilizarán para contrastar la evolución de los indicadores de muestreo de campo a lo largo del tiempo, y corroborar así su uso como indicadores de ACC, así como para el desarrollo de otros indicadores que reflejen procesos a largo plazo. El grupo de investigación de la Universidad de Alcalá ha compilado datos de ordenaciones de montes (OM) para algunos montes en la península Ibérica durante el s. XX. Además, se podrán utilizar datos históricos del Inventario Forestal Español (IFN) para calcular información respecto a la estructura de la masa y su dinámica. Estos datos de OM y/o IFN utilizarán información correspondiente a regeneración, crecimiento y mortalidad, para determinar cambios en las tasas demográficas, así como otras variables estructurales. Con ellos además se podrán determinar otros índices como son los de resiliencia y resistencia (ver Tabla 6).

Datos de dendrocronología (DE): estos datos se utilizarán para contrastar la evolución del indicador troncal de crecimiento (CRE) a lo largo del tiempo, utilizando para ellos datos de dendrocronología existentes para los montes de estudio o realizando muestreos piloto. Si no existiesen datos de dendrocronología para el monte de estudio podría contemplarse la posibilidad de tomar algunos testigos, aunque teniendo en cuenta la complejidad técnica y el coste que conlleva.



Datos de modelización (MN): estos datos serán utilizados para la realización de modelos de nicho con datos de presencia/ausencia de especies a nivel español y/o europeo (e.g. <http://forest.jrc.ec.europa.eu/download/data/species-distribution/>). Estos modelos también podrán calibrarse con datos del inventario forestal nacional o bien con datos de regiones de procedencia. Mediante datos de modelización se podrán calcular los indicadores complementarios de cambio en la distribución de especies o cambios en la distribución genética espacial (ver tabla 6).

Datos climáticos disponibles (CLI): estos datos procedentes de estaciones locales (AEMET, 2018) serán utilizados para la determinación de los peligros climáticos del monte de estudio.

De forma adicional se propondrán análisis de laboratorio (LAB) en algunos indicadores candidatos (ver Tabla 7).

2.3 Tipos de masas forestales

Los indicadores ACC del presente proyecto han sido desarrollados para su aplicación en masas forestales de diversos tipos, incluyendo: (i) bosques naturales, (ii) bosques naturalizados de origen artificial, y (iii) plantaciones. Además, en función del grado de gestión pueden ser a su vez: (1) gestionados, o (2) no gestionados. Dependiendo del tipo de bosque al que se aplique la metodología descrita poseerá una serie de aspectos específicos para cada una de ellas. Cuando se trata de masas naturales no gestionados el diseño del muestreo de campo (i.e. mediante transectos o parcelas) podrá ser aleatorio o semi-aleatorio en el espacio. Cuando se trate de bosques ordenados (y especialmente plantaciones), el muestreo no podrá ser aleatorio en el espacio, si no que deberá atender a la división dasocrática del monte y ser estratificado y aleatorio en cada uno de los estratos.

Con el apoyo de:



2.4 Identificación preliminar de los indicadores

Los principales indicadores identificados para medir el grado de adaptación de los sistemas forestales se describen a continuación (ver Tabla 2).

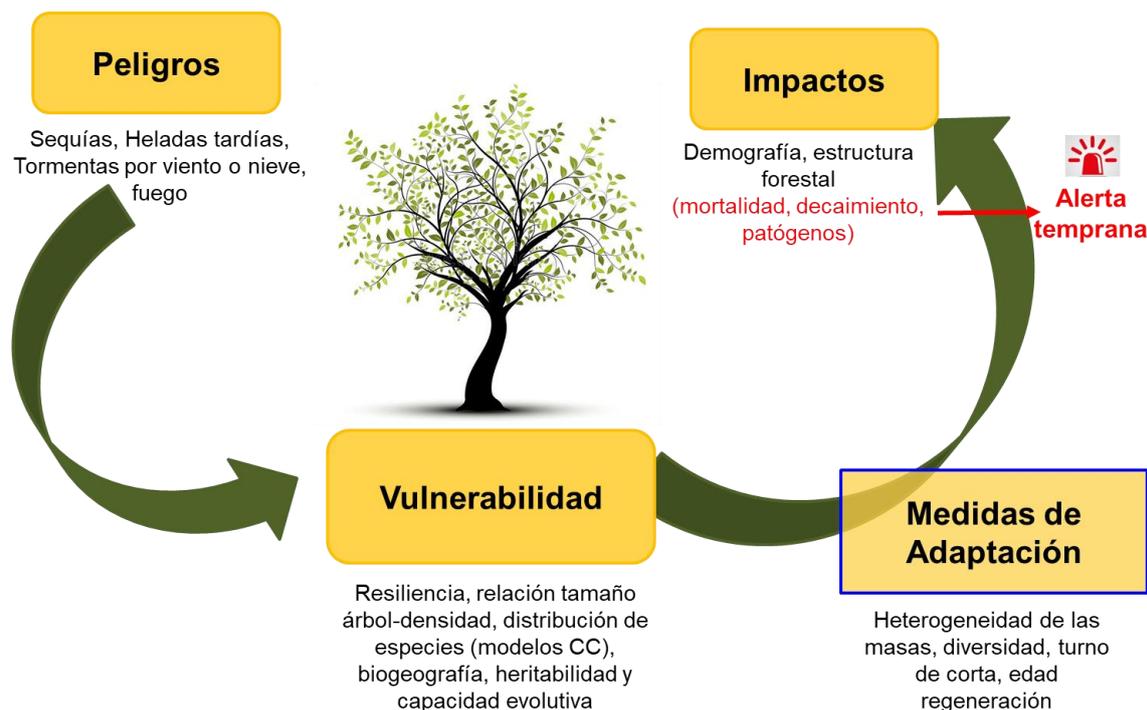


Figura 6. Resumen de los grupos de indicadores identificados en cada uno de los tipos de indicadores de aspectos relevantes para la adaptación al cambio climático.

Con el apoyo de:



Tabla 2. Resumen de los indicadores identificados para la medición del grado de adaptación de masas forestales. Se indica el tipo de indicador y el grupo al que pertenecen (Troncal, T; Complementario, Co; Candidato, Ca)

Indicador	Descripción	Datos Nivel (fuente)	Tipo	Referencias
1. Sequía - SPEI	No. meses SPEI < 0	Nivel monte (externos)	De peligro, climático, T	Schwalm et al. 2017
2. Eventos extremos	No. días $T_{min} < 0$ (abril-junio)	Nivel monte (externos)	De peligro, climático, T	Inouye 2000
- Heladas tardías	No. eventos días T_{max} 95% percentil			
- Olas de calor				
3. Tormentas por viento y nieve	No. días $V_{viento} > 100$ Km/h Volumen de cortas por temporales	Nivel monte (externos)	De peligro, climático, T	Ennos 1997, Mitchell 2013 Nykänen et al. 1997, Kilpeläinen et al. 2010
4. Incendios	Frecuencia anual y área afectada	Nivel monte (externos)	De peligro, climático, T	Moriondo et al. 2006
5. Sobrepastoreo	Bajo, medio, alto	Nivel monte (externos)	De peligro, fauna, T	Cote et al. 2004
6. Regeneración	No. plántulas y juveniles por especie. Presencia de herbívora	Definir áreas de monte, campo	De impacto, demográfico, T	Mendoza et al. 2009, Matías & Jump 2014
7. Resiliencia juveniles	Elongaciones en juveniles	Definir áreas de monte, campo	Vulnerabilidad, adaptación, impacto, demográfico, T	Lloret et al. 2011, Madrigal et al. 2017, Herrero & Zamora 2014
8. Crecimiento	Aumento d.a.p. o volumen	Definir áreas de monte, campo o datos externos (OM, dendrocronología)	De impacto, demográfico, T	Gómez-Aparicio et al. 2011, Ruiz-Benito et al. 2015
9. Reproducción	No. frutos	Definir áreas de monte, campo	Impacto, demográfico, T	Prasas et al. 2002
10. Mortalidad	Porcentaje de individuos muertos, tamaño medio de individuos muertos	Definir áreas de monte, campo	De impacto, demográfico, alerta temprana, T	Allen et al. 2010, 2015, Carnicer et al. 2011, Ruiz-Benito et al. 2013a, Camarero et al. 2015
11. Decaimiento	% defoliación y coloración usando GLAMA app.	Definir áreas de monte, campo	De impacto, alerta temprana, T	Dobbertin 2005, Sánchez-Salguero et al. 2012, 2013 Tichý 2016
12. Ratios d.a.p, densidad, LAI, copa	Información límite del sistema forestal	Definir áreas de monte, campo	De vulnerabilidad, estructura, T	Ruiz-Benito et al. 2013, Marqués et al. 2017, Gracia et al. 2009, Ameztegui et al. 2017, Jump et al. 2017
13. Heterogeneidad clases diamétricas	CV d.a.p. = media dbh /sd	Definir áreas de monte, campo	De impacto, estructura, T	Linares et al. 2010, Lafond et al. 2014, Gazol & Camarero 2016

Con el apoyo de:



Indicador	Descripción	Datos Nivel (fuente)	Tipo	Referencias
14.Presencia de aves forestales	Grupos de aves forestales sensibles al cambio climáticos	Nivel Monte	De impacto, adaptación, diversidad, T	
15.Diversidad	Riqueza especies arbóreas y matorral, grupos funcionales, seguimiento flora amenazada y plantas indicadoras	Nivel Monte	De adaptación, vulnerabilidad y, diversidad, alerta temprana T	Gamfledt et al. 2013, Gazol & Camarero 2016, Gazol et al. 2018
16.Gestión	Estrategias de manejo que favorecen la adaptación forestal	Nivel Monte	Adaptación, gestión, T	Millar et al. 2007, Lechuga et al. 2017
17. Rango de distribución	Norte, centro o sur	Nivel monte (externos)	Vulnerabilidad, Biogeografía, T	Sanz-Elorza et al. 2003, Peñuelas et al. 2007
18.Modelos de distribución – presencia/ausencia	Probabilidad de desaparición según MDE tradicionales	Nivel especie (externos)	Vulnerabilidad, Co	Benito-Garzón et al. 2008
19.Modelos de distribución – regiones de procedencia	Probabilidad de desaparición según MDE y regiones de procedencia	Nivel especie (externos)	Vulnerabilidad, Co	Benito-Garzón et al. 2011, Serra-Varela et al. 2015, 2017, Sánchez-Salguero et al. 2018
20.Modelos de distribución - demografía	Probabilidad de desaparición según MDE con crecimiento y mortalidad	Nivel especie (externos)	Vulnerabilidad, Co	Benito-Garzón et al. 2013
21.SPOM	Probabilidad de desaparición según SPOM	Nivel especie (externos)	Vulnerabilidad, Co	García Valdés et al. 2013
22.Resiliencia	Crecimiento, regeneración, supervivencia	Nivel monte (externos)	De impacto, vulnerabilidad, adaptación, Co	Lloret et al. 2011, Herrero & Zamora 2014, Madrigal et al. 2017, Sánchez-Salguero et al. 2013, 2017a, 2018
23.Diversidad funcional	Diversidad grupos funcionales	Nivel monte	De vulnerabilidad, adaptación	Ruiz-Benito et al. 2017, Gazol et al. 2018
24.Rasgos adaptativos	Isótopos de carbono	Nivel monte	Vulnerabilidad, adaptación, Ca	Hoffmann & Sgrò 2011, Jump & Penuelas 2005
25.Heritabilidad y capacidad evolutiva	Medición de rasgos funcionales en ensayos de procedencia	Nivel monte	Vulnerabilidad, adaptación, Ca	Hoffmann & Merilä 1999
26.Diversidad genética	Diversidad genética y riqueza de alelos	Nivel monte	Vulnerabilidad, Ca	Fady, et al. 2016a,b, Gazol et al. 2018, Sánchez-Salguero et al. 2018

Acrónimos usados. MDE: Modelos de distribución de especies; SPOM: Stochastic Patch Population Models, SPEI: Standardized Precipitation Evapotranspiration Index.

Con respecto a los indicadores relacionados con incendios, sólo se ha considerado el peligro derivado de los mismos, indicado por el número de conatos y la superficie afectada por los mismos. Sin embargo, no se consideran indicadores de incendios relativos a la gestión por encontrarse ya incluidos en los “Estándares españoles de gestión forestal para la certificación FSC”. En concreto los estándares contemplan ya los siguientes indicadores:

Indicador 6.5.1: contempla que se prestará especial atención a la compactación y erosión superficial producida por las cortas y la construcción de pistas e infraestructura de defensa contra incendios forestales.

Indicador 6.5.2: considera que la Unidad de Gestión Forestal cuenta con una adecuada infraestructura de defensa contra incendios (áreas cortafuegos naturales o artificiales, pistas, fajas auxiliares, puntos de agua, etc.), que se mantiene permanentemente en buen estado de conservación.

Indicador 6.5.3: considera que la unidad de gestión forestal cuenta con medios humanos capacitados y materiales (propios o ajenos) para contribuir a la prevención, detección y extinción de incendios forestales.

Indicador 7.2.2: considera que las sucesivas revisiones del Plan de Gestión incorporan, al menos, los cambios producidos en las circunstancias ambientales, económicas y sociales (por ejemplo: incendios, fenómenos ambientales de carácter catastrófico, cambios de titularidad, etc.).

Indicador 10.7.5: considera que todas las plantaciones existentes o proyectadas en la Unidad de Gestión Forestal cuentan con una adecuada infraestructura de defensa contra incendios (áreas cortafuegos naturales o artificiales, pistas, fajas auxiliares, puntos de agua, etc.), que se mantiene permanentemente en buen estado de conservación.

Indicador 10.7.6: considera que La Unidad de Gestión Forestal cuenta con medios humanos y materiales para llevar a cabo funciones de prevención, detección y extinción de incendios forestales en sus plantaciones.

2.4.1 Indicadores troncales

A continuación, se hace una descripción detallada de cada uno de los indicadores, justificando su uso como indicadores de adaptación, impacto, peligro o vulnerabilidad, así como la metodología a seguir para su seguimiento y su método de evaluación y seguimiento.

INDICADOR 1- Sequía (SEQ)

Descripción

Las condiciones climáticas pueden tener un efecto importante en el funcionamiento de los bosques. El IPCC (2014) identifica algunas variables físicas del clima a escala local como peligros tanto presentes como proyecciones para este siglo. En concreto, la **sequía** es un factor limitante para el desarrollo de los bosques, que puede influir en el crecimiento (e.g. Weemstra et al. 2013, Timofeeva et al. 2017), la regeneración (e.g. Vilà-Cabrera et al. 2012) y la supervivencia de las especies forestales (e.g. Herrero et al. 2013), llegando incluso a provocar mortalidades masivas de individuos (Allen et al. 2010). El Índice estandarizado de precipitación/evapotranspiración (SPEI: Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) (adimensional) es una medida de la sequía media (Vicente-Serrano et al. 2017) ampliamente utilizada, en la que valores negativos de SPEI indican condiciones de sequía. Por lo tanto, consideramos que el índice SPEI puede clasificarse como un **indicador de peligro**. En concreto, utilizamos el número de meses al año con valores negativos de SPEI.

Metodología

Para medir el número de meses al año con sequía se hará uso de bases de **datos climáticos (CLI)**, en concreto, se usará el Índice estandarizado de precipitación/evapotranspiración SPEI (Vicente-Serrano et al. 2017) que es gratuito y fácilmente descargable (<http://spei.csic.es/>). El indicador SEQ (Tabla 5) se estimará calculando el número de meses al año con un valor de SPEI negativo.

Evaluación

El indicador SEQ se medirá para el año de estudio con una periodicidad anual y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un aumento en el número de meses con sequía es un indicador ACC de peligro desfavorable (ver apartado 2.5 para más detalles de la forma de evaluación del indicador).

INDICADOR 2- Eventos extremos

2.a Heladas tardías (HEL)

Descripción

En un contexto de cambio climático, el aumento de la temperatura global puede provocar un alargamiento de las épocas sin heladas (Menzel, 1999). Asimismo, el incremento de la temperatura global puede producir alteraciones en los sistemas forestales (Allen et al. 2016), como cambios en el crecimiento de las especies forestales (Sánchez-Salguero et al. 2017b) o alargamientos de la época de crecimiento vegetativo en algunas especies (Menzel, 1999). Sin embargo, el potencial adelantamiento en la fenología de algunas especies podría incrementar el daño por **heladas tardías** (Augspurger 2009). Las heladas tardías ocurren cuando las temperaturas son inferiores a 0°C durante el periodo de crecimiento de la mayor parte de las especies vegetales (abril, mayo, junio), llegando a formar cristales de hielo entre y dentro de las células, causando un daño físico en las plantas (Inouye, 2000). Estos daños pueden limitar el desarrollo de los bosques, especialmente en los estadios más jóvenes de crecimiento ya que ponen en peligro el éxito de la regeneración (Gu et al. 2008, Rodrigo 2000). Por ello consideramos las heladas tardías como un *indicador de peligro*. En concreto usamos el número de días al año con heladas tardías.

Metodología

Para medir el número de heladas tardías anual se hará uso de bases de **datos climáticas (CLI)**, en concreto, de los datos procedentes de la AEMET (<http://www.aemet.es/>). El indicador HEL (Tabla 5) se estimará calculando el número de días con heladas (temperaturas mínimas < 0 °C) tardías al año. Consideramos heladas tardías aquellas que ocurren después de que el crecimiento vegetativo se haya iniciado, y en concreto, durante los meses de abril, mayo y junio.

Evaluación

Este indicador se medirá para el año de estudio con una periodicidad anual y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un aumento en el número de heladas tardías es un indicador de peligro desfavorable (ver apartado 2.5 para más detalles de la forma de evaluación del indicador).

2.b Olas de calor (CAL)

Descripción

Con el calentamiento global se espera que aumentan la frecuencia, la intensidad y la duración de las olas de calor. Las olas de calor intensifican el efecto negativo de las sequías dando lugar a procesos de decaimiento y mortalidad masiva a nivel mundial (Allen et al. 2010, 2015). Además, los cambios en la temperatura son uno de los mayores factores que contribuyen a la defoliación en bosques españoles y las especies muestran una respuesta sincrónica. Por ello, las olas de calor un *indicador de peligro*.

Metodología

Para medir el número de heladas tardías anual se hará uso de bases de **datos climáticas (CLI)**, en concreto, de los datos procedentes de la AEMET (<http://www.aemet.es/>). El indicador OC (Tabla 5) se estimará calculando el número eventos de calor, siendo un evento donde haya 3 días consecutivos con temperaturas máximas por encima del percentil 95% de la serie de temperaturas máximas diarias de los meses de julio y agosto en el periodo 1971-2000.

Evaluación

Este indicador se medirá para el año de estudio con una periodicidad anual y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un aumento en el número de olas de calor es un indicador de peligro desfavorable (ver apartado 2.5 para más detalles de la forma de evaluación del indicador).

INDICADOR 3- Tormentas por viento y nieve

3.a. Tormentas por viento (TORv)

Descripción

El **viento** es un factor climático que puede producir importantes impactos en el funcionamiento y estructura de los bosques (Ennos, 1997, Mitchell 2013). Así, tormentas con fuertes vientos pueden provocar impactos varios como defoliaciones, rotura y fallo de ramas o desestabilización del sistema radicular en árboles (Mitchell, 2013), lo cual a su vez puede tener efectos en el crecimiento de los árboles y el desarrollo del matorral (Hedden et al. 1995). El cambio climático prevé un aumento en la frecuencia de eventos extremos, entre ellos las tormentas con fuertes vientos (IPCC, 2014). Por lo tanto, consideramos las tormentas por viento como un **indicador de peligro**. En concreto, utilizamos el número de días al año con rachas superiores a 100km/h.

Metodología

Para medir el número de días con tormentas por viento se hará uso de bases de **datos climáticas (CLI)**, en concreto, de los datos procedentes de la AEMET (<http://www.aemet.es/>). El indicador VIE (Tabla 5) se estimará calculando el número de días al año con viento superior a 100km/h.

Evaluación

Este indicador se medirá para el año de estudio con una periodicidad anual y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un aumento en el número tormentas por viento es un indicador de peligro desfavorable (ver apartado 2.5 para más detalles de la forma de evaluación del indicador).

3.a. Tormentas por nieve (TORn)

Descripción

Junto con el **viento**, la **nieve** es el factor que causa el mayor porcentaje de daño en los bosques europeos anualmente (Nykänen et al. 1997). En ambientes mediterráneos, los daños por tormentas de nieve cobran importancia sobre todo en zonas montañosas. Los impactos que las tormentas de nieve producen en los sistemas forestales son principalmente la rotura de copas y ramas, así como el consecuente incremento del riesgo por ataque de insectos y hongos (e.g. Lundqvist 1994). El cambio climático prevé un aumento en la frecuencia de eventos extremos, entre ellos las tormentas de nieve (IPCC, 2014). Por lo tanto, consideramos las tormentas de nieve como un **indicador de peligro**. En concreto, utilizamos el volumen de cortas por temporales.

Metodología

Para medir el peligro por tormentas por nieve se hará uso de datos procedentes de las **ordenaciones de montes (OM)**, en concreto, los datos de cortas procedentes de daños por temporales. El indicador NIE se estimará calculando el volumen de cortas al año debido a temporales.

Evaluación

Este indicador se medirá aproximadamente cada diez años, que es el periodo aproximado de actualización de la ordenación forestal, y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un aumento en el volumen de cortas por tormentas por viento es un indicador de peligro desfavorable (ver apartado 2.5 para más detalles de la forma de evaluación del indicador).

INDICADOR 4- Incendios (INC)

Descripción

El **fuego** y los **incendios** han formado parte del paisaje en la región mediterránea desde tiempos muy antiguos. Sin embargo, ante condiciones de cambio climático, se prevé que la frecuencia y severidad de los mismos aumente (Moriondo et al. 2006) ya que el fuego está directamente relacionado con la humedad de la materia vegetal, la cual está influenciada por la precipitación, temperatura y viento. Por lo tanto, consideramos el fuego como un **indicador de peligro**. En concreto, utilizamos el número de incendios al año en la zona de estudio, así como la superficie afectada por los mismos.

Metodología

Para medir el número de incendios al año en la zona de estudio se hará uso de bases de datos de la serie histórica de incendios de cada municipio (Banco de Datos de Biodiversidad, MAPAMA) o bien de los datos recogidos en las memorias anuales del monte de estudio, si es que disponen de ella (e.g. <http://www.mapama.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/centros-fincas/valsain/memorias.aspx>). El indicador INC se estimará calculando el número de incendios al año o bien la superficie afectada por incendios en la zona de estudio.

Evaluación

El indicador INC se medirá para el año de estudio con una periodicidad anual y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un aumento en el número de incendios y/o superficie quemada es un indicador ACC de peligro desfavorable (ver apartado 2.5 para más detalles de la forma de evaluación del indicador).

INDICADOR 5- Sobrepastoreo (PAS)

Descripción

El sobrepastoreo se produce por animales silvestres o domesticados que causan un impacto continuado en el tiempo en un determinado monte. Así, por ejemplo, los ungulados podrían consumir encinas de poco porte durante años secos en los que no hay suficiente pasto. Esto se debe a que los pastos son muy dependientes del régimen de lluvias y no hay ajustes rápidos a la carga herbívora respecto a la disponibilidad de pasto en el monte. Además, cabe destacar el aumento de las poblaciones de ungulados silvestres como el ciervo (con un porcentaje alto de leñosas en su dieta) debido a una falta de gestión adecuada, ausencia de depredadores e inviernos más cálidos (Cote et al., 2004). Por ello, la herbívora podría actuar acelerando el efecto dañino del cambio climático. Por lo tanto, consideramos el pastoreo como un ***indicador de peligro***.

Metodología

Para medir la herbivoría se realizará a nivel de monte visualmente de forma que se ponga una gradación del 0 al 10 (0: sin herbivoría, 5: herbivoría intermedio, 10: herbivoría intensiva).

Evaluación

El indicador PAS se medirá para el año de estudio con una periodicidad anual y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un aumento en el PAS es un indicador ACC de peligro desfavorable (ver apartado 2.5 para más detalles de la forma de evaluación del indicador).

INDICADOR 6- **Regeneración (REG)**

Descripción

La regeneración, ya sea por semilla, vegetativa o mediante repoblación, constituye una condición fundamental para el mantenimiento a largo plazo de los ecosistemas forestales. Por un lado, la regeneración natural favorece la conservación de los genotipos locales, así como de la estructura y dinámicas naturales de los bosques. Por otra parte, favorecer la regeneración puede agilizar procesos de sucesión secundaria y la llegada de otras especies al ecosistema (p.ej. mediante plantación o siembra en zonas valladas). La regeneración es un parámetro demográfico que puede verse afectado de forma considerable por las condiciones climáticas (i.e. una sequía intensa, Matías & Jump 2014), por lo que lo consideramos como un *indicador de impacto*. Este indicador también podría ser considerado como un *indicador de adaptación*, si tras la aplicación de medidas en el bosque de estudio se evalúan los cambios en la regeneración y por tanto la mejora en la adaptación del bosque o rodal.

Metodología

Para medir la regeneración se utilizarán **muestreos de campo (MC)**. En el caso de masas naturales o semi-naturales se establecerán 10 transectos aleatorios, cada uno de los cuales será de 20 metros de largo, en el monte a valorar. En el caso de masas artificiales ordenadas el muestreo será estratificado por tramo y replicado en cada cuartel. Es decir, se seleccionarán específicamente los tramos de regeneración en los diversos cuarteles, dentro de los cuales se realizarán transectos en un número variable de tranzones. El número y características de los transectos será el mismo para masas naturales o semi-naturales.

En cada transecto se anotará el número y especie de individuos regenerados. Individuos regenerados serán aquellos individuos con una altura menor a 30 cm. El indicador REG (Tabla 5) será expresado como el número de individuos regenerados con respecto al área de muestreo expresada en hectáreas, calculándose la media de todos los transectos:

$$REG = \frac{\sum \left(\frac{r_1}{t_{r1}} + \frac{r_2}{t_{r2}} + \dots + \frac{r_n}{t_{rn}} \right)}{n} \times 100$$

donde r_x es el número de individuos regenerados para cada transecto, t_{rx} es el área de cada transecto expresado en hectáreas y n es el número total de transectos. El resultado será

Con el apoyo de:



expresado número de individuos regenerados por hectárea. Se anotará si existen individuos que presenten daños por herbivoría o de otra naturaleza y si es así se calculará el porcentaje de individuos que presentan daños.

Evaluación

Este indicador se medirá con una periodicidad anual y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un descenso en la regeneración es un indicador ACC desfavorable (ver apartado 2.5 para más detalles de la forma de evaluación del indicador).

INDICADOR 7- Resiliencia y resistencia a eventos de sequía en juveniles (RESJ y RSTJ)

En el actual contexto de cambio climático los eventos climáticos extremos como las sequías severas, las olas de calor o las heladas tardías representan perturbaciones que pueden afectar las principales tasas demográficas (crecimiento, reclutamiento y supervivencia) de las especies dominantes en los ecosistemas forestales. En zonas estacionalmente secas (como el área mediterránea) las sequías extremas constituyen perturbaciones periódicas que pueden reducir el crecimiento (e.g. Herrero & Zamora 2014), la regeneración (e.g. Mendoza et al. 2009) y la supervivencia (e.g. Herrero et al. 2013) de las especies dominantes que co proporcionan la estructura característica a diversos ecosistemas forestales. La resiliencia, que se define como la capacidad de un ecosistema, comunidad o individuo para recuperarse después de una perturbación y recobrar su estructura y función previas a la perturbación (Holling 1996, Scheffer et al. 2001, Lloret et al. 2011, Folke et al. 2004), puede ser clave en un contexto como este. Por otro lado, la resistencia indica la fuerza ejercida por un individuo, comunidad o ecosistema para oponerse al cambio impuesto por una perturbación (Kaufman 1982, MacGillvray et al. 1995). Además, los estadíos juveniles son más sensibles a las condiciones abióticas que los árboles adultos, debido en parte a su limitado sistema radicular (Houle, 1994), respondiendo más rápidamente a cambios ambientales que individuos adultos (Lloret et al. 2009). Por ello consideramos que la evaluación de la resistencia y resiliencia en individuos juveniles es un *indicador de vulnerabilidad, adaptación e impacto*. Por un lado, la evaluación de la resiliencia nos proporcionará información relativa a la capacidad de los juveniles de recuperarse tras un evento de sequía, mientras que la resistencia nos informará del impacto de dicho evento en los juveniles.

Metodología

Para medir la resiliencia (RESJ) y resistencia (RSTJ) en juveniles de cada especie se utilizarán **MC**. En el caso de masas naturales o semi-naturales se seleccionarán de forma aleatoria unos 30 juveniles por especie separados entre sí por al menos 30 m para asegurarnos su independencia espacial y evitar posibles efectos maternos. Se considerarán individuos juveniles aquellos que no sean sexualmente maduros (i.e. no presentan piñas en el caso de pinares) y que tengan al menos 0.5 m de altura (1 m en el caso de especies de crecimiento más rápido, como los pinos). Se excluirán aquellos individuos que presenten daños por herbivoría o de otra naturaleza. En el caso de masas artificiales ordenadas el muestreo será

estratificado por sección y replicado en cada cuartel o tramo de regeneración en los diversos cuarteles, dentro de los cuales se seleccionarán los distintos individuos. El número seleccionado de juveniles será el mismo para masas naturales o semi-naturales.

Para cada individuo se medirán las elongaciones anuales en el fuste principal si es posible (i.e. La elongación anual solo se puede medir así en algunas especies, sobre todo coníferas con una única elongación (fenología marcada por temperaturas y precipitación)). Para medir la elongación anual, se medirá la distancia entre los nudos de ramas o las cicatrices de las yemas que parten del fuste principal, comenzando por las más nuevas (superiores) y avanzando hacia las más antiguas (inferiores). De esta manera se estima el crecimiento para cada uno de los años posibles, siendo la primera elongación el correspondiente al último periodo de crecimiento. Este indicador se medirá exclusivamente en aquellos montes con un clima continental o atlántico, con claras diferencias estacionales, evitando así montes de zonas con inviernos suaves que permitan más de un crecimiento por año o elongación anual.

Los indicadores de resiliencia (RESJ) y resistencia (RSTJ) en juveniles (Tabla 5) serán expresados utilizando las fórmulas de Lloret et al. (2011):

$$RESJ = \frac{PostPb}{PrePb}$$

$$RSTJ = \frac{Pb}{PrePb}$$

Donde *PrePb* hace referencia al valor medio de crecimiento en los dos años previos a la perturbación, *PostPb* al valor medio de crecimiento en los dos años posteriores a la perturbación y *Pb* al valor de crecimiento durante el año de la perturbación, considerando como perturbación un año con una sequía elevada.

Evaluación

El indicador RESJ y RSTJ se cuando haya una perturbación extrema basado en medidas de crecimiento quincenales. Se calcularán tantos índices de resiliencia y resistencia como eventos de sequía hubiera en la serie de años evaluada. Para evaluar la resiliencia se requiere que dicha serie abarque dos años posteriores a dichos eventos. Consideramos que un descenso en la resiliencia o resistencia en juveniles de un evento de sequía a otro es un

indicador ACC desfavorable (ver apartado 2.5 para más detalles de la forma de evaluación del indicador).

INDICADOR 8- Crecimiento (CRE)

Descripción

El **crecimiento** del individuo constituye información básica acerca de la vitalidad del individuo y es indicador de la dinámica del bosque y el mantenimiento a largo plazo de los ecosistemas forestales (junto con regeneración y mortalidad). El crecimiento es un parámetro **demográfico** que puede verse afectado por las condiciones climáticas al igual que por las interacciones bióticas como la competencia o las plagas y patógenos. En concreto, en los bosques españoles, se ha detectado que la reducción de la precipitación y el aumento de la evapotranspiración están relacionados con un descenso en el crecimiento de los árboles (Candel-Pérez et al. 2012, Gómez-Aparicio et al. 2011, Camarero et al. 2015, Sánchez-Salguero et al. 2017b). Por ello, consideramos el crecimiento como un **indicador de impacto**, donde un descenso en el crecimiento indicaría una menor capacidad de adaptación al CC.

Metodología

Para medir el crecimiento de cada especie se utilizarán **MC**. En el caso de masas naturales o semi-naturales se establecerán aleatoriamente 10 parcelas circulares de 5 metros de diámetro (podrían ser las mismas que para regeneración y defoliación), dentro de las cuales se medirá el diámetro a la altura del pecho (d.a.p.) de todos los individuos adultos (d.a.p. > 75 mm y altura > 130 cm) de la especie/s a valorar. De forma alternativa se extraerán testigos de madera mediante una barrena de pressler a los 5 árboles dominantes más cercanos al centro en parcelas alternas (Fritts, 2001). En el caso de masas artificiales ordenadas el muestreo se realizará será estratificado por tramo y replicado en cada cuartel. Es decir, se seleccionarán específicamente los tramos en producción en los diversos cuarteles, dentro de los cuales se establecerán parcelas circulares de 5 metros de diámetro en un número variable de tranzones. Se establecerán, al igual que en las masas naturales o semi-naturales, un total de 10 parcelas pudiéndose distribuir de forma variable entre cuarteles y tranzones (e.g. transecto en dos tranzones dentro de cada cuartel, en un total de cinco cuarteles). En el caso de masas ordenadas será necesario asimismo incorporar información de los posibles tratamientos



intermedios aplicados (i.e. limpias, cortas de mejora, aclareos, etc.) consultando con los gestores o técnicos del monte. De forma alternativa se podrán establecer dendrómetros en algunos individuos de las parcelas muestreadas para la medición anual del crecimiento acumulado (Zeweifel et al. 2016).

El indicador de crecimiento (CRE) (Tabla 5) será expresado como el crecimiento medio de cada especie en cada una de las parcelas y se hará la media de todas las parcelas:

$$CRE = \frac{\sum(d_1 + d_2 + \dots + d_n)}{n}$$

Donde d_x es el crecimiento (d.a.p.) medio para cada especie y parcela, y n es el número total de parcelas. El resultado se hará relativo a la hectárea, por lo que se expresará en cm/hectárea.

El crecimiento de cada especie también puede ser medido mediante el uso de datos procedentes de **OM**. Para ello se utilizarán los datos de existencias y cortas a lo largo de las revisiones, siendo el crecimiento la diferencia entre la suma de las existencias más las cortas en el tiempo 2 y las existencias en el tiempo 1, y donde tiempo 1 y tiempo 2 representan dos revisiones de la ordenación consecutivas. Este valor de crecimiento se relativizará para cada año y hectárea de monte, de forma que pueda ser comparable con otros datos.

Evaluación

Este indicador se medirá con una periodicidad quinquenal y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un descenso en el crecimiento es un indicador ACC desfavorable (Camarero et al. 2015, ver apartado 2.5 para más detalles de la forma de evaluación del indicador).

INDICADOR 9- Reproducción (REP)

Descripción

La **reproducción** constituye igualmente una condición fundamental para el mantenimiento a largo plazo de los ecosistemas forestales y es un indicador de la vitalidad de la masa. Los cambios en el clima, como el aumento de las temperaturas y el incremento de las sequías, pueden provocar cambios fenológicos (Menzel & Fabian 1999) o una falta de vigor en los individuos adultos para producir semillas, teniendo serios impactos en la reproducción de los individuos (Prasad et al. 2002). Por ello consideramos la reproducción como un **indicador de impacto**. Aunque muchas especies forestales son veceras, es decir, que algunos años producen muchos frutos y otros años pocos, en general, se espera, que las especies que presentan una adaptación al cambio climático presenten una tendencia a largo plazo en la reproducción estable.

Metodología

Para medir la reproducción se utilizarán **MC**. En el caso de masas naturales o semi-naturales se establecerán aleatoriamente 10 parcelas circulares de 5 metros de diámetro, dentro de las cuales se contará el número de frutos de cinco individuos adultos (d.a.p. > 75 mm y altura > 130 cm) de la especie/s a valorar. En el caso de masas artificiales ordenadas el muestreo será estratificado por tramo y replicado en cada cuartel. Es decir, se seleccionarán específicamente los tramos en producción en los diversos cuarteles, dentro de los cuales se establecerán parcelas circulares de 5 metros de diámetro en un número variable de tranzones. Se establecerán, al igual que en las masas naturales o semi-naturales, un total de 10 parcelas pudiéndose distribuir de forma variable entre cuarteles y tranzones (e.g. transecto en dos tranzones dentro de cada cuartel, en un total de cinco cuarteles). En cada parcela se contará el número de frutos de cinco individuos adultos (d.a.p. > 75 mm y altura > 130 cm) de la especie/s a valorar. Para contar los frutos (e.g. conos en el caso de pinos), se deberá proveer la media de tres rondas de conteo. En cada una de las rondas el conteo consistirá en contar el número de frutos durante 30 segundos.

El indicador de reproducción (REP, Tabla 5) será expresado como el número de frutos medio por individuo y especie en cada uno de los transectos, calculándose la media de todos los transectos:

Con el apoyo de:



$$REP = \frac{\sum(f_1 + f_2 + \dots + f_n)}{n}$$

donde f_x es el número de frutos medio por individuo y especie para cada transecto, y n es el número total de transectos. El resultado se hará relativo a la hectárea, por lo que se expresará en nº frutos/hectárea.

Evaluación

Este indicador se medirá con una periodicidad anual y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que una tendencia a largo plazo de una reducción en la reproducción será un indicador ACC desfavorable (ver apartado 2.5 para más detalles de la forma de evaluación del indicador).

Con el apoyo de:



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



20 AÑOS



INDICADOR 10- Mortalidad (MOR)

Descripción

La **mortalidad** es un aspecto demográfico clave que se calcula como una tasa de individuos que mueren por unidad de espacio y tiempo, relativo al número de individuos de esa comunidad o población objeto de estudio. La mortalidad, al igual que la regeneración o la productividad, puede verse influido, directa o indirectamente, por cambios del clima y del entorno biótico. En concreto, en los últimos años un mayor número de estudios ha reportado eventos de mortalidad en bosques asociados a eventos de sequía y/o aumentos de temperatura (e.g. Allen et al. 2010, 2015, Carnicer et al. 2011, Ruiz-Benito et al. 2013a, Camarero et al. 2015). Por ello consideramos la mortalidad como un *indicador de impacto* del cambio climático. Además, este indicador es considerado como un **indicador de alerta temprana**.

Metodología

Para medir la mortalidad se utilizarán **MC**. En el caso de masas naturales o semi-naturales se establecerán aleatoriamente 10 transectos, cada uno de 20 metros de largo. En el transecto se anotará el número y especie de individuos muertos, así como el número total de individuos. Los individuos objeto de evaluación serán individuos adultos los cuales se definen en función del diámetro a la altura del pecho (d.a.p.) > 75 mm y la altura > 130 cm. En el caso de masas artificiales ordenadas el muestreo se realizará será estratificado por tramo y replicado en cada cuartel. Es decir, se seleccionarán específicamente los tramos en producción en los diversos cuarteles, dentro de los cuales se establecerán parcelas transectos de 20 metros de largo en un número variable de tronzones. Se establecerán, al igual que en las masas naturales o semi-naturales, un total de 10 transectos pudiéndose distribuir de forma variable entre cuarteles y tronzones (e.g. transecto en dos tronzones dentro de cada cuartel, en un total de cinco cuarteles). El procedimiento de conteo en cada transecto será el mismo para masas naturales o semi-naturales. En el caso de que los individuos muertos han sido retirados se hará una cuantificación aproximada con la información disponible de los gestores.

Con el apoyo de:



El indicador de mortalidad (MOR, Tabla 5) será expresado como el número de individuos muertos con respecto al área de muestreo expresada en hectáreas, en un lapso de tiempo determinado (2 años) entre muestreos consecutivos:

$$MOR = \frac{\sum \left(\frac{m_1}{t_{m1}} + \frac{m_2}{t_{m2}} + \dots + \frac{m}{t_{mn}} \right)}{n} \times t^{-1}$$

donde, m_x es el número de individuos muertos para cada transecto, S_{rx} es el área de cada transecto expresada en hectáreas, n es el número total de transectos y t es el tiempo transcurrido entre muestreos consecutivos.

Evaluación

Este indicador se medirá con una periodicidad de dos a cinco años y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un aumento en la mortalidad es un indicador ACC desfavorable (ver apartado 2.5 para más detalles de la forma de evaluación del indicador).

INDICADOR 11- Defoliación (DEF)

Descripción

La defoliación es el deterioro progresivo del arbolado que se manifiesta, entre otros indicadores, a través de la senescencia del follaje o defoliación o cambios en la coloración de las hojas (Manion 1981, Solberg 2004). Se ha demostrado que la defoliación forestal está directamente relacionada con factores como el cambio climático, contaminación, así como plagas y enfermedades (Dobbertin & Brang 2001). En concreto, los efectos derivados del cambio climático (i.e. sequías extremas) pueden provocar defoliaciones severas en el arbolado (Dobbertin 2005, Sánchez-Salguero et al. 2012, Camarero et al. 2015), que en ambientes estacionalmente secos (como los mediterráneos) llegan a provocar el declive o mortalidad de las especies más vulnerables a la sequía (Sánchez-Salguero & Navarro-Cerrillo 2012, Camarero et al. 2015). Por ello, la defoliación y decoloración de la copa arbórea es considerada un buen indicador de la salud y vitalidad de los árboles, siendo de utilidad como **indicador de alerta temprana** (FAO, 2014). Consideramos por lo tanto la defoliación y/o decoloración como un *indicador de impacto*.

Metodología

Para medir la defoliación se utilizarán **MC** (Métodos de Campo). Se realizarán transectos lineales por cada 10 hectáreas tanto en masas naturales o semi-naturales, como artificiales ordenadas, estableciéndose aleatoriamente 10 parcelas circulares, siendo el muestreo replicado en cada sección. En cada parcela se estimará la defoliación en los 10 árboles adultos (d.a.p. > 75 mm y/o altura > 130 cm) de la especie/s a valorar más cercanos (considerando solo árboles dominantes) o 5 árboles por categoría (en caso de considerar más categorías de copa). En las masas ordenadas se seleccionarán específicamente los tramos en producción en los diversos cuarteles, dentro de los cuales se establecerá el mismo sistema de parcelas.

Para establecer el grado de **defoliación (DEF)** se hará uso de los criterios establecidos en la red de daños europea (MMA 2001), según los cuales se tendrán varios aspectos en consideración:



Con el apoyo de:



- (i) La copa individual de cada árbol debe ser considerada tal y como está en el momento de su evaluación, sin tener en cuenta la copa potencial o teórica que pudo haber existido en años pasados.
- (ii) Se fijará un árbol de referencia dentro del rodal considerado como el óptimo para las condiciones de estación, edad y estatus de la copa (dominante, codominante o suprimido). Este árbol será considerado como la referencia de 0 % de defoliación de su copa para la especie y rodal (ICP, 2016).
- (iii) La copa evaluable está formada por el conjunto de ramas vivas y por aquellas cuya muerte ha sido reciente, presentando en general todavía ramillos portadores de hoja. En función de las características de la masa y del arbolado se define la copa evaluable:
 - a. Copas individualizadas: Se considera copa evaluable desde la primera rama inferior viva. No se consideran las ramas que puedan haber muerto por poda natural. (Fig. 5a).
 - b. Copas con tangencia: Se considera copa evaluable desde la tercera rama inferior viva. (Fig. 5b).
 - c. Copas trabadas: La copa evaluable no incluye las zonas entrelazadas con copas de otros árboles. (Fig. 5c).
 - d. Masas en densidad excesiva: la copa evaluable comprende únicamente el tercio superior de la copa. (Fig. 5d).
 - e. Arbolado joven: la copa evaluable se define como la mitad superior de la copa de aquellos árboles de escasa altura o pies pequeños que forman copa desde el suelo. (Fig. 5e).

Con el apoyo de:

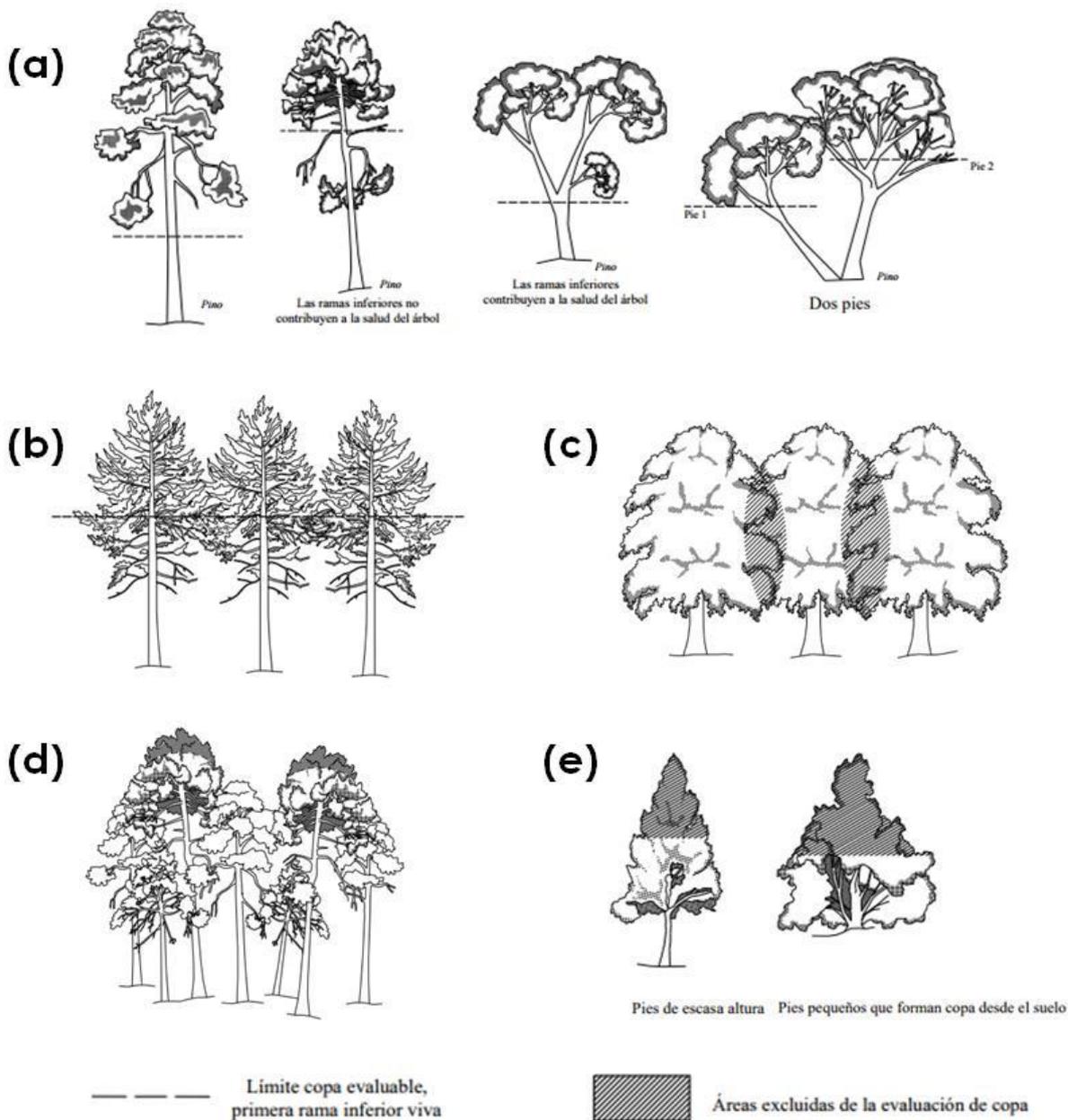


Figura 5. Descripción del área de copa evaluable para el grado de defoliación en función de la disposición de las copas en el bosque o rodal a evaluar: (a) copas individualizadas; (b) copas con tangencia; (c) copas trabadas; (d) masas en densidad excesiva y (e) arbolado joven. Fuente: MMA, 2001.

La extensión de la defoliación en la copa evaluable del árbol se evalúa en grados porcentuales del 5%, tal y como están definidas en el Reglamento UN/ECE (1994), según la cantidad de hoja/acícula perdida por el árbol. Se anotará según se especifica en la Tabla 3.

Tabla 3. Porcentaje de defoliación y su valoración

Defoliación (%)	Grado
0	0
1-5	5
6-10	10
11-15	15
etc	

El grado de defoliación podrá ser estimado visualmente o bien haciendo uso de foto hemisférica, en cuyo caso se hará uso de la aplicación gratuita para Smartphone GLAMA (Gap Light Analysis Mobile Application software, Tichý 2016). En ambos casos, bien mediante inspección visual o mediante foto hemisférica, la valoración se realizará siempre desde el mismo punto de la parcela (i.e. zona central) y en el caso de uso de foto, colocando la cámara en una dirección e inclinación determinadas. El valor de defoliación obtenido mediante foto será a través del índice de cobertura de copa “CaCo index”, el cual podremos interpretarlo como una medida indirecta de defoliación, donde una reducción en este índice indicará un aumento en la defoliación. El indicador de defoliación (DEF, Tabla 5) será expresado como el grado de decoloración de cada individuo en cada una de las parcelas de cada transecto y se hará la media de todos los transectos:

$$DEF = \frac{\sum(de_1 + de_2 + \dots de_n)}{n}$$

Donde de_x es el grado de defoliación para cada especie (Tabla 2) y transecto, y n es el número total de transectos. Nótese que, en el caso de uso de foto hemisférica, en lugar del grado de defoliación de la Tabla 3 se usará el valor del “CaCo index”.

Para medir la defoliación también se podrá hacer uso de datos procedente de **OM**, los cuales recogen información de defoliación (DEF) y/o coloración (COL) para un período de tiempo concreto. Igualmente, en algunos casos pueden contener información relativa a la afeción de plagas (e.g. procesionaria) (PLA), medida como el número de bolsones o número de individuos afectados.

Evaluación

Este indicador se medirá con una periodicidad anual en época estival (agosto-septiembre) y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un aumento en la defoliación es un indicador ACC desfavorable (ver apartado 2.5 para más detalles de la forma de evaluación del indicador).

INDICADOR 12- **Ratio tamaño densidad (RTD)**

Descripción

En bosques españoles de elevadas densidades, se han relacionado eventos de mortalidad y decaimiento forestal con el aumento de las temperaturas y los eventos de sequía (e.g. Carnicer et al. 2011, Sánchez-Salguero et al. 2012, Ruiz-Benito et al. 2013). El incremento de la **densidad** forestal derivado de la reducción de prácticas forestales en los últimos años puede ser uno de los condicionantes del incremento de los eventos de mortalidad y decaimiento (e.g. Madrigal 1998, Ruiz-Benito et al. 2012). Es por ello que la reducción en la densidad de las masas forestales ha sido considerada como una medida eficaz que puede mitigar los impactos negativos de la aridez (Marqués et al. 2017, Gracia et al. 2009, Linares et al. 2010), y favorecer por lo tanto la adaptación de la masa al cambio climático (Lindner et al. 2014, Ameztegui et al. 2017). No obstante, la densidad de la masa por sí sola no es del todo informativa, ya que es dependiente del **tamaño** de los individuos. A medida que los individuos son mayores en tamaño comienzan a competir por nutrientes, luz o agua, es por ello que una reducción en la densidad puede ayudar a la masa forestal a estar más sana y presentar una mayor productividad (Jump et al. 2017). Así, masas más densas con individuos más pequeños pueden ser igual de productivas que masas menos densas con individuos de mayor tamaño. En un contexto de cambio climático, la competencia por el agua en ambientes mediterráneos puede ser crítica. Por todo ello consideramos que la relación entre el tamaño de los individuos y la densidad de la masa constituye un *indicador de adaptación*, donde una relación muy elevada será considerada como un indicador ACC desfavorable.

Metodología

Para medir la relación tamaño-densidad se utilizarán **MC**. En el caso de masas naturales o semi-naturales se establecerán aleatoriamente 10 parcelas circulares de 5 metros de diámetro, dentro de las cuales se medirá el d.a.p. de todos los individuos adultos (d.a.p. > 75 mm y altura > 130 cm) y se relativizará para el área de la parcela. Se medirá asimismo la densidad de la parcela. En el caso de masas artificiales ordenadas el muestreo será estratificado por tramo y replicado en cada cuartel. Es decir, se seleccionarán específicamente los tramos en producción en los diversos cuarteles, dentro de los cuales se establecerán parcelas circulares de 5 metros de diámetro en un número variable de tranzones. Se establecerán, al igual que en las masas naturales o semi-naturales, un total de 10 parcelas pudiéndose distribuir de forma



variable entre cuarteles y tranzones (e.g. transecto en dos tranzones dentro de cada cuartel, en un total de cinco cuarteles). En cada parcela también se medirá el d.a.p. de todos los individuos adultos (d.a.p. > 75 mm y altura > 130 cm) y se relativizará para el área de la parcela. Igualmente se estimará la densidad de la parcela. El indicador de ratio tamaño-densidad (RTD) (Tabla 5) será expresado como el tamaño de los individuos por el número de individuos por hectárea.

Por otro lado, la segunda aproximación permite calcular indirectamente la densidad del rodal mediante el uso de foto hemisférica y el índice de cobertura de copa “CaCo index” (Tichý 2016). Para ello se hará uso de la aplicación GLAMA (Tichý 2016), gratuita, que se instala en cualquier Smartphone, instalando previamente un ojo de pez en el mismo. A diferencia del indicador de defoliación, en este caso tomaremos la foto desde el punto medio de la parcela (siguiendo el sistema de establecimiento de parcelas mencionado anteriormente) enfocando hacia la parte superior y haciendo uso de la foto hemisférica.

Evaluación

Este indicador se medirá con una periodicidad anual y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Los valores de referencia de la relación tamaño-densidad, por encima de los cuales no se recomienda llevar a la masa, no solo en términos de producción sino también en términos de adaptación, son difíciles de establecer ya que dependen de la especie que compone el bosque y en muchas ocasiones del sitio. No obstante, como punto de inicio se ha calculado el rango de la relación entre el tamaño y la densidad para cada una de las principales especies de pino para todo el territorio nacional, mediante el uso del inventario forestal nacional (IFN). Para determinar el nivel superior de la relación tamaño-densidad de los pinares españoles de referencia se ha realizado una regresión log-log en el cuartil 90 (ver Figura 6). Aquellas relaciones tamaño-densidad que superen este percentil 90 para cada una de las especies, son consideradas como “excepcionales y poco comunes”. En algunos casos, podrían ser consideradas a su vez como desfavorables, aunque habría que estudiar cada caso de forma independiente.

Con el apoyo de:

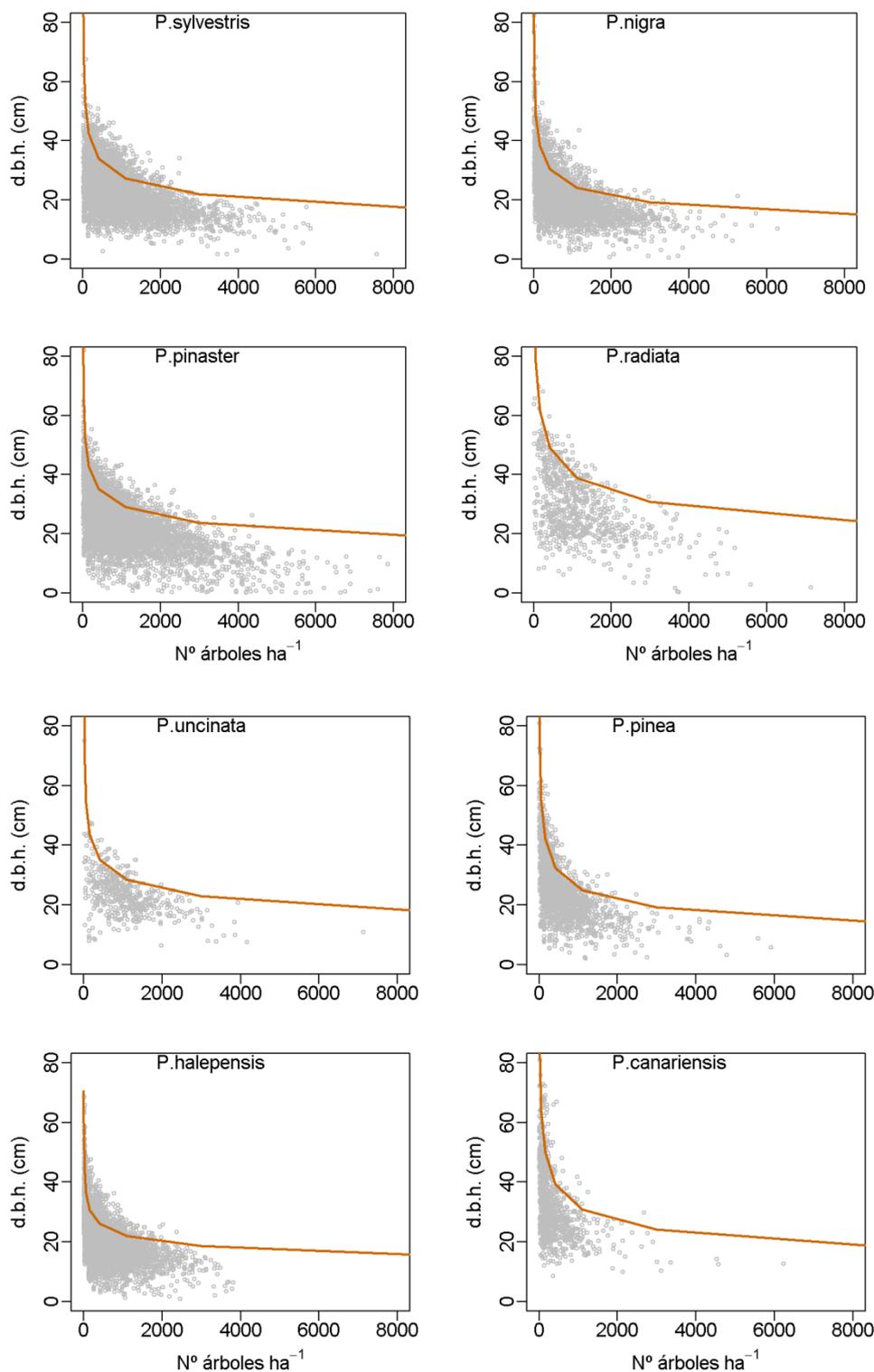


Figura 6. Relación entre el tamaño del individuo (d.a.p. (cm)) y la densidad del bosque para las diferentes especies de pino. Se ha calculado la regresión log-log en el cuartil 90 que mejor se ajustaba a los datos del IFN. Elaboración propia.

Con el apoyo de:



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



20 AÑOS



INDICADOR 13- **Heterogeneidad de clases diamétricas** (grado de irregularidad) (HET)

Descripción

La estructura de edades o clases diamétricas de las masas forestales es un parámetro estructural y proporciona información fundamental sobre el estado de madurez del bosque y las posibles dinámicas de su desarrollo futuro. Algunos estudios recientes destacan el papel de la diversidad en la estructura de edades como una herramienta de gestión forestal para favorecer la resiliencia y adaptación de las masas forestales al cambio climático (Lafond et al. 2014, Gazol & Camarero 2016). Por ello, consideramos la diversidad en la estructura de edades o clases diamétricas como un *indicador de adaptación*. En concreto, una mayor heterogeneidad en la estructura de clases diamétricas sugerirá una mayor capacidad de adaptación ya que individuos de diferente tamaño y edad responderán de manera diferente a las perturbaciones. Además, los bosques con una estructura heterogénea pueden limitar la dispersión e infestación de plagas y patógenos.

Metodología

Para medir la heterogeneidad de clases diamétricas se utilizarán **MC**. En masas naturales o semi-naturales se establecerán aleatoriamente 10 parcelas circulares de 5 metros de diámetro, dentro de las cuales se medirá el d.a.p. de cada uno de los individuos, tanto adultos (d.a.p. > 75 mm y altura > 130 cm) como jóvenes (d.a.p. < 75 mm y altura < 130 cm). Estos datos también podrán ser obtenidos de los datos de ordenaciones forestales (OM).

El indicador de heterogeneidad de clases diamétricas (HET) (Tabla 5) será expresado calculando el coeficiente de variación en el diámetro. Para ello se dividirá la desviación estándar del diámetro entre el diámetro medio de los individuos para cada parcela.

Evaluación

Este indicador se medirá con una periodicidad anual y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que una mayor diversidad en la estructura de clases diamétricas será un indicador ACC favorable. Para establecer un valor de comparación que determine el umbral de diversidad de clases diamétricas, se hará uso de los datos del inventario forestal nacional (IFN) (ver apartado 2.5 para más detalles de la forma de evaluación del indicador).

INDICADOR 14- Diversidad de aves forestales (AVE)

Descripción

Entre otros organismos, las aves son consideradas como buenos indicadores para evaluar el efecto de las perturbaciones y los cambios en hábitats y paisajes (Furness & Greenwood 1993). En concreto, las especies de aves presentes en los sistemas forestales están generalmente muy diversificadas y responden de manera fina a los cambios estructurales. De esta manera, algunas especies son más generalistas (e.g. capaz de desarrollarse en una amplia gama de condiciones ambientales), mientras que otras son más especialistas (e.g. requieren unas condiciones ambientales específicas). Así pues, consideramos que la diversidad de especies de aves forestales, y en especial de aquellas que son más exigentes con las condiciones ambientales, es un *indicador de impacto y adaptación*.

Metodología

Para medir la diversidad de aves forestales se utilizarán MC. En masas naturales o semi-naturales se establecerán aleatoriamente 10 transectos de 20 metros de largo. En el caso de masas artificiales ordenadas el muestreo será estratificado por tramo y replicado en cada cuartel. También puede hablarse con los gestores, ya que probablemente conozcan el tipo de aves presentes en la masa ordenada. En cada transecto se anotará la presencia de aves pertenecientes a los grupos descritos en la Tabla 4.

Tabla 4. Especies de aves forestales en pinares

Nombre común	Nombre científico	Hábitat
Carbonero común	<i>Parus major</i>	Cualquier pinar
Carbonero garrapinos	<i>Parus ater</i>	Cualquier pinar
Herrerillo capuchino	<i>Parus cristatus</i>	Cualquier pinar
Reyezuelo listado	<i>Regulus ignicapilla</i>	Cualquier pinar
Piquituerto	<i>Loxia curvirostra</i>	Cualquier pinar
Pito real	<i>Picus viridis</i>	Cualquier pinar
Trepador azul	<i>Sitta europea</i>	Pinares más húmedos y antiguos
Pico picapinos	<i>Dendrocopos major</i>	Pinares más húmedos y antiguos
Agateador común	<i>Certhia brachydactyla</i>	Pinares más húmedos y antiguos
Cárabo común	<i>Strix aluco</i>	Pinares más húmedos y antiguos

Con el apoyo de:



El indicador de diversidad de aves forestales (AVE, Tabla 5) será calculado como el número de especies descritas en la Tabla 4, presentes en el monte.

Evaluación

Este indicador se medirá con una periodicidad anual y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que una mayor diversidad de aves forestales, y en especial de aquellas especies más especialistas en pinares más antiguos y húmedos, será un indicador ACC favorable.

INDICADOR 15- **Diversidad (DIV)**

15. Diversidad taxonómica (DIV_{spp}), especies amenazadas y especies indicadoras (DIV_{vul})

Descripción

La relación positiva entre la diversidad y la productividad en sistemas forestales ha sido previamente reconocida por varios autores (Liang et al. 2016, Ruiz-Benito et al. 2014). De igual manera, el incremento en la diversidad de las masas forestales puede favorecer la resiliencia del ecosistema ante condiciones de estrés debido a diferentes estrategias en el uso de recursos y tolerancias al estrés ambiental. Además, el seguimiento de la flora amenazada es un criterio de conservación de los estándares españoles de FSC. Una medida sencilla sería la presencia de plantas indicadores como e.g. *Juniperus phoenicea*. Es por ello que consideramos que la diversidad de especies puede favorecer la adaptación de la masa al cambio climático mientras que la flora amenazada y presencia de especies indicadoras puede ser especialmente sensible a los efectos del cambio climático siendo un indicador de alerta temprana. Por lo tanto, consideramos un **indicador de adaptación y vulnerabilidad**.

Metodología

Para medir la diversidad de especies arbóreas, evolución de la flora amenazadas y especies indicadoras podrán utilizar diferentes métodos:

- Consultas a los gestores o técnicos del monte.
- Consultas a los planes de OM.
- Consultas a los datos del IFN.

Asimismo, la diversidad podrá medirse mediante MC (métodos de campo). Para ello, en masas naturales o semi-naturales se establecerán aleatoriamente 10 parcelas circulares de 5 metros de diámetro. En el caso de masas artificiales ordenadas el muestreo será estratificado por tramo y replicado en cada cuartel. Dentro de cada parcela se anotará el número de especies diferentes, tanto adultos (d.a.p. > 75 mm y altura > 130 cm) como jóvenes (d.a.p. < 75 mm y altura < 130 cm). La diversidad será calculada como el número de especies (DIV, Tabla 5).

Con el apoyo de:



20
AÑOS



Evaluación

Este indicador se medirá con una periodicidad anual y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que una mayor diversidad de especies será un indicador ACC favorable.

INDICADOR 16- **Parámetros gestión (GES)**

Descripción

Las estrategias de manejo que favorecen la adaptación forestal al cambio climático requieren considerar las diferentes escalas temporales sobre las cuáles los mecanismos ecológicos y los cambios ambientales suceden (Vilà-Cabrera et al. 2018). Por ello, en el caso de masas gestionadas, consideramos que los parámetros de gestión constituyen un *indicador de adaptación* (Tiscar-Oliver et al. 2015).

Metodología

Para determinar los parámetros de gestión (GES, ver Tabla 5) se harán entrevistas a los gestores o bien obtención de la información mediante el plan de gestión del monte a valorar, en caso de existir.

Los aspectos relacionados con la gestión a evaluar en el monte de estudio serían:

- a. Intensidad de la gestión: consideramos que es baja siguiendo el criterio FSC donde la tasa de aprovechamiento es $< 20\%$ del Crecimiento Medio Anual (CMA) y el volumen de aprovechamiento anual es $< 5000 \text{ m}^3$
- b. Método de ordenación y tratamiento silvícola principal
- c. Turno de corta o edad de regeneración – se valorará positivamente que sea largo, 120 años, para una gestión más adaptativa.
- d. El período de regeneración – se valorará positivamente que sea prolongado (10 a 30 años) para una gestión más adaptativa
- e. Estructura de la masa: coetánea o irregular - se valorará positivamente que sea irregular.
- f. Aplicación de tratamientos intermedios o de mejora (tienen por objetivo favorecer el estado vegetativo de las masas forestales y de sus individuos)
- g. Aplicación de tratamientos para favorecer la biodiversidad (i.e. Mantenimiento de claros y prados, Tratamientos diferenciales en los bordes de masa, mantenimiento de enclaves de vegetación diferente a la principal, bosques de galería y vegetación riparia, etc.)
- h. Presencia de individuos maduros para favorecer la evolución de los sistemas forestales actuales hacia estructuras silvícolas de mayor nivel de madurez que

Con el apoyo de:



pueden garantizar una fuente de semillas de origen local, así como proporcionar un microhábitat estable para una serie variada de organismos (Tíscar et al. 2015).

- i. Medidas de prevención de incendios: ruptura de la continuidad horizontal y vertical de los combustibles y reducción de la carga de combustibles, mediante la apertura de cortafuegos, áreas cortafuegos o fajas auxiliares de reducción de la carga de combustibles apoyadas en caminos, pistas o carreteras y otros
- j. Presencia de otros usos no madereros: cinegético, recreativo, protección física o paisajística, reserva biológica, cuarteles fuera de ordenación, producción de resina, corcho, fruto o pastos.
- k. Diversidad de especies: masa mixta o no
- l. Presencia de especies no autóctonas

Evaluación

Este indicador se medirá con una periodicidad quinquenal.

INDICADOR 17- Rango de distribución (RDI)

Descripción

El rango de distribución de una especie puede ser definido como aquella fracción del espacio geográfico donde una especie está presente e interactúa de manera no efímera con el ecosistema (Zunino & Palestrini, 1991), donde actualmente existen una serie de condiciones bióticas y abióticas aptas para su crecimiento y reproducción (Woodward 1987). Las especies forestales en España presentan un rango de distribución conocido, existiendo numerosas fuentes que lo documentan (i.e. Euforgen, Alía et al. 2009). Dentro del rango de distribución de la especie, una población puede estar situada en el núcleo central de la distribución o en los márgenes, ya sea en el superior o inferior geográficamente. Las poblaciones situadas en los límites de la distribución, a pesar de que pueden presentar adaptaciones específicas, pueden presentar un peor desarrollo y ser potencialmente más susceptibles al cambio climático (Hampe & Petit 2005). Por ello consideramos el rango de distribución de la especie de estudio como un indicador de *vulnerabilidad* (Dawson et al. 2011).

Metodología

Se determinará si la población o rodal de estudio se encuentra situado en el rango de distribución de la especie, y si es así si lo hace en el centro o en los límites de su distribución. Para ello se utilizarán mapas existentes de distribución como los de EUFORGEN, que serán cruzados con la población de estudio mediante el uso de software GIS.

Evaluación

Este indicador se medirá de forma puntual, ya que la biogeografía de la especie cambia muy lentamente, por lo que no se esperan cambios bruscos.

Tabla 5. Indicadores troncales ACC a testar mediante datos de campo, ordenaciones de montes e inventario forestal

Sistema de indicadores troncales - La certificación forestal como instrumento de gestión forestal adaptativa												
Evaluación de los impactos y de la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático en superficie certificada FSC en España												
ID Indicador	Indicador	Grupo	Objetivo que evalúa	Tipo	Descripción	Fuente/Bases de datos	Variable analizada	Nivel de aplicación	Forma de medición	Unidad de medida	Periodicidad	Tendencia deseada
1-SEQ	Sequía	Troncal	Evaluación de los peligros ante los efectos del cambio climático	Peligro	Número de meses con sequía	CLI	Número meses SPEI < 0	Monte	Datos externos	No. meses	Anual	No cambio
2-HEL y OC	Heladas tardías Olas de valor	Troncal	Evaluación de los peligros ante los efectos del cambio climático	Peligro	Número de días con heladas tardías Nº eventos con 3 días consecutivos Tmax > 95%	CLI	Nº días abril-mayo T.min < 0 Nº 3 días Tmax > 95%	Monte	Datos externos	No. días	Anual	No cambio
3-VIE y NIE	Tormentas por viento y nieve	Troncal	Evaluación de los peligros ante los efectos del cambio climático	Peligro	Número de días con velocidad del viento superior a 100 Km/h	CLI	Número de días con V.viento > 100 Km/h	Monte	Datos externos	No. días Volumen (cm3)	Anual Decenal	No cambio
4-INC	Incendios	Troncal	Evaluación de los peligros ante los efectos del cambio climático	Peligro	Número de incendios y/ superficie quemada	CLI/OM	Número de incendios y/ superficie quemada	Monte	Datos externos	No. Incendios y/o superficie (Ha)	Anual	Descenso o no cambio
5-HER	Herbivoría	Troncal	Evaluación de los peligros ante los efectos del cambio climático	Peligro	Intensidad de herbivoría	Campo	Ranking de herbivoría en vegetación leñosa (0-10)	Monte	Campo	Cualitativa	Anual	Contesto-dependiente

Tabla 5. Indicadores troncales ACC a testar mediante datos de campo, ordenaciones de montes e inventario forestal

Sistema de indicadores troncales - La certificación forestal como instrumento de gestión forestal adaptativa												
Evaluación de los impactos y de la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático en superficie certificada FSC en España												
ID Indicador	Indicador	Grupo	Objetivo que evalúa	Tipo	Descripción	Fuente/Bases de datos	Variable analizada	Nivel de aplicación	Forma de medición	Unidad de medida	Periodicidad	Tendencia deseada
5-INC	Incendios	Troncal	Evaluación de los peligros ante los efectos del cambio climático	Peligro	Número de incendios y/ superficie quemada	CLI/OM	Número de incendios y/ superficie quemada	Monte	Número de incendios y/ superficie quemada	No. Incendios y/o superficie (Ha)	Anual	Descenso o no cambio
6-REG	Tasa de regeneración	Troncal	Evaluación de los impactos ante los efectos del cambio climático	Impacto	Regeneración de la/s especie/s principal/es, y se contrastarán con datos existentes (OM/IFN).	MC	Regeneración por especie	Especie	No. individuos regenerados relativo a la hectárea	No. regenerado ha ⁻¹	Anual	Aumento o no cambio
7-RESJ/RSTJ	Resiliencia y resistencia juveniles	Troncal	Evaluación de la adaptación ante el cambio climático	Adaptación. Impacto, vulnerabilidad	Elongación de los juveniles en la/s especie/s principal/es, y posteriormente cálculo de la resiliencia/resistencia	MC	Resiliencia y resistencia por especie	Especie	$RESJ = \frac{PostPb}{PrePb}$ $RSTJ = \frac{Pb}{PrePb}$	Adimensional	Quinquenal	Aumento o no cambio
8-CRE	Crecimiento	Troncal	Evaluación de los impactos ante los efectos del cambio climático	Impacto	Crecimiento de la/s especie/s principal/es	MC/OM	Crecimiento medio por especie	Individuo	Diámetro a la altura del pecho (d.a.p.) (cm) relativo a la hectárea. Volumen (cm ³) relativo a la hectárea	cm ha ⁻¹ o cm ³ ha ⁻¹	Quinquenal	Aumento

Tabla 5. Indicadores troncales ACC a testar mediante datos de campo, ordenaciones de montes e inventario forestal

Sistema de indicadores troncales - La certificación forestal como instrumento de gestión forestal adaptativa												
Evaluación de los impactos y de la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático en superficie certificada FSC en España												
ID Indicador	Indicador	Grupo	Objetivo que evalúa	Tipo	Descripción	Fuente/Bases de datos	Variable analizada	Nivel de aplicación	Forma de medición	Unidad de medida	Periodicidad	Tendencia deseada
9-REP	Reproducción	Troncal	Evaluación de los impactos ante los efectos del cambio climático	Impacto	Número de frutos de la/s especie/s principal/es	MC	Nº de frutos medio por especie	Individuo	Nº de frutos por individuo y especie relativo a la hectárea	No. frutos ha ⁻¹	Anual	Aumento o no cambio
10-MOR	Mortalidad	Troncal	Evaluación de los impactos ante los efectos del cambio climático	Impacto, Alerta temprana	Tasa de mortalidad de la/s especie/s principal/es.	MC	% mortalidad por especie	Especie	Nº de individuos muertos/ Nº individuos total	%	Anual	Descenso o no cambio
11-DEF, COL, PAT	Defoliación	Troncal	Evaluación de los impactos ante los efectos del cambio climático	Impacto, Alerta temprana	Defoliación de la/s especie/s principal/es.	MC/OM	Grado de defoliación, grado de decoloración	Especie	% de defoliación % de decoloración	%	Anual	Descenso o no cambio
12-RTD	Ratio tamaño densidad	Troncal	Evaluación de la adaptación del monte	Adaptación	Área basal relativa a la hectárea.	MC/IFN	Área basal relativa a la hectárea	Monte	Área basal relativa a la hectárea	cm ² ha ⁻¹	Anual	Descenso o no cambio*
13-HET	Heterogeneidad clases diamétricas	Troncal	Evaluación de la adaptación del monte	Adaptación	Diversidad de clases diamétricas o grupos de edades	MC/IFN	No. de clases diamétricas	Monte	Coficiente de variación del diámetro	Adimensional	Anual	Aumento o no cambio

Tabla 5. Indicadores troncales ACC a testar mediante datos de campo, ordenaciones de montes e inventario forestal

Sistema de indicadores troncales - La certificación forestal como instrumento de gestión forestal adaptativa												
Evaluación de los impactos y de la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático en superficie certificada FSC en España												
ID Indicador	Indicador	Grupo	Objetivo que evalúa	Tipo	Descripción	Fuente/Bases de datos	Variable analizada	Nivel de aplicación	Forma de medición	Unidad de medida	Periodicidad	Tendencia deseada
14-AVE	Presencia de aves forestales	Troncal	Evaluación de la adaptación y/o impacto del monte	Adaptación, Impacto	Diversidad de aves forestales	MC	No. de especies de aves forestales	Monte	No. de especies de aves forestales	No. especies	Anual	Aumento o no cambio
15-DIVspp y DIVvul	Diversidad	Troncal	Evaluación de la adaptación y vulnerabilidad del monte	Adaptación	Diversidad de especies leñosas, amenazadas e indicadoras	MC/IFN/OM	No. especies	Monte	No. especies	No. especies	Anual	Aumento o no cambio
16-GES	Gestión	Troncal	Evaluación de la adaptación del monte	Adaptación	Tipo de ordenación del monte, el turno y la edad de regeneración. Parámetros específicos de gestión	MC	Tipo de turno de corta	Monte	Encuestas	Adimensional	Anual	Favorable
17-RDI	Rango de distribución	Troncal	Evaluación de la vulnerabilidad del monte	Adaptación	Localización de la población de estudio con respecto a su rango de distribución global	MN	Localización de la especie en el centro o periferia de su rango de distribución	Global / Monte	Modelización	Adimensional	Puntual	Favorable

2.4.2 Indicadores complementarios

INDICADOR 18- Cambios en la distribución de especies- presencia-ausencia (CDEpa)

Descripción

Los modelos de distribución permiten estimar los cambios potenciales en la distribución de especies bajo nuevas condiciones ambientales. Estos modelos se basan en correlaciones lineales o no lineales de la presencia/ausencia de una especie en función de las condiciones abióticas (Ruiz-Benito et al. 2013c) asumiendo que el principal factor subyacente a la distribución espacial de las especies es el clima. La proyección de la distribución de especies en escenarios climáticos futuros asume por lo tanto que la nueva distribución o nicho potencial de las especies se ajusta al nuevo patrón climático (Herrero & Zavala 2015). Algunas asunciones de estos modelos son que la distribución de las especies se encuentra en equilibrio con las condiciones climáticas actuales y que otros factores como la competencia o la dispersión juegan un papel secundario. No obstante, estos modelos pueden ser parametrizados con datos de diversa índole (ver Tabla 6): datos de presencia y ausencia de la especie (Benito-Garzón et al. 2008), datos de plasticidad (Benito-Garzón et al. 2011), datos demográficos (i.e. mortalidad y crecimiento, Benito-Garzón et al. 2013) o con datos de equilibrio de las especies con el clima usando tasas de colonización y extinción (García-Valdés et al. 2013), o incluyendo cambio en el hábitat potencial de las especies debidos a cambios en el uso (García-Valdés et al. 2015).

Tabla 6. Tipos de modelos de distribución de especies, con su variable respuesta, referencia y escala.

Modelo	Referencia	Variable respuesta	Escala
Modelo de Distribución de Especies (MDE)	Benito-Garzón et al. (2008)	Rango de distribución de la especie	Malla 1 km ² (20 especies)
MDE parametrizados con plasticidad y adaptación local	Benito-Garzón et al. (2011)	Supervivencia y rango de distribución de la especie	Observacionales (IFN) Experimentales (ensayos de procedencia) (2 especies)
MDE parametrizados con crecimiento y mortalidad	Benito-Garzón et al. (2013)	Crecimiento, mortalidad y rango de distribución de la especie	Parcela IFN (11 especies)
Modelo estocástico dinámico de ocupación de teselas (SPOM)	García-Valdés et al. (2013)	Colonizaciones y extinciones locales (escenarios con y sin cambio climático)	Parcela IFN (10 especies)
Modelo estocástico dinámico de ocupación de teselas (SPOM)	García-Valdés et al. (En prep.)	Colonizaciones y extinciones locales (escenarios con y sin cambios de hábitat)	Parcela IFN (23 especies)



En un contexto de cambio climático se esperan cambios en la distribución de las especies, asociados a los cambios ambientales. Por lo tanto, consideramos el cambio en la distribución de especies como un *indicador de vulnerabilidad*.

Metodología

Para calcular los cambios en la distribución de especies mediante datos de presencia-ausencia (CDEpa, ver Tabla 7) se hará uso de datos de presencia y/o ausencia procedentes del **inventario forestal nacional (IFN)** y/o de otras bases de datos externas como los datos de distribución de especies procedentes de EUFORGEN (<http://www.euforgen.org/species/>). Los modelos de distribución de especies serán parametrizados con datos de presencia y/o ausencia.

Para calibrar el modelo se podrá hacer uso de las diferentes técnicas estadísticas disponibles. A continuación, describimos una de ellas mediante el uso del paquete “biomod 2” (Thuiller et al. 2009) en R 3.3.1 (R Core 2012). Para la calibración se usan cinco algoritmos estadísticos: modelos lineales generalizados, modelos aditivos generalizados, modelos de bosques aleatorios, árboles de clasificación y MaxEnt. La evaluación del modelo se realiza mediante la media de los estadísticos “true skill statistic” (TSS) y el área bajo el estadístico “receiver operating characteristic curve” (ROC). Las predicciones de cada uno de los algoritmos son ensambladas para proyección de los modelos finales en condiciones climáticas actuales y futuras.

Evaluación

Este indicador se medirá de forma puntual.

INDICADOR 19- Cambios distribución de especies- regiones de procedencia (CDerp)

Descripción

Bajo condiciones de cambio climático, los cambios en la distribución de las especies pueden ser mitigados o modificados en parte, en algunas poblaciones, debido a fenómenos de adaptación local o alta diversidad genética que proporcione a los individuos una alta capacidad de adaptación (DeSalle & Amato 2004, Schaberg et al. 2008, Alfaro et al. 2014, Cavers & Cottrell 2014, Ellegren & Ellegren 2016, Fady et al. 2016a). Por lo tanto, consideramos el cambio en la distribución de especies, basado en datos genéticos y de adaptación local como un *indicador de vulnerabilidad*.

Metodología

Para calcular los cambios en la distribución de especies mediante datos de regiones de procedencia (CDerp) (ver tabla 7) se hará uso de datos de plasticidad, adaptación local o información genética (ver Benito-Garzón et al. 2011, Valladares et al. 2014, Serra-Varela et al. 2015, 2017, Sánchez-Salguero et al. 2018). Esta aproximación asume que, si el área de ocupación de una especie proyectado en el futuro se ve mermado, se podría deber a que las condiciones climáticas pueden exceder la capacidad de adaptación de dicha especie.

Para calibrar el modelo se podrá hacer uso de las diferentes técnicas estadísticas disponibles, que pueden ser las mismas que para el indicador anterior (CDEpa)

Evaluación

Este indicador se medirá de forma puntual.

INDICADOR 20- Cambios distribución de especies- demografía (CDEdem)

Descripción

Estos modelos consideran cómo los procesos demográficos (e.g. crecimiento, mortalidad) determinan la presencia/ausencia o abundancia de especies (Benito-Garzón et al. 2013). Estos modelos permiten la obtención de resultados más realistas de la idoneidad de hábitat de las especies respecto a los modelos de distribución de especies calibrados con datos de presencia y ausencia (Ruiz-Benito et al. 2013c). En un contexto de cambio climático se esperan cambios en la distribución de las especies, asociados a los cambios ambientales. Por lo tanto, consideramos el cambio en la distribución de especies, basado en procesos demográficos como un *indicador de vulnerabilidad*.

Metodología

Para calcular los cambios en la distribución de especies mediante procesos demográficos (CDEdem, ver Tabla 7) se hará uso de datos demográficos (i.e. crecimiento y mortalidad, ver Benito-Garzón et al.2013) que pueden ser obtenidos del **inventario forestal nacional (IFN)**.

Para calibrar el modelo se podrá hacer uso de las diferentes técnicas estadísticas disponibles, que pueden ser las mismas que para los indicadores anteriores (CDEpa y CDErp).

Evaluación

Este indicador se medirá de forma puntual.

Con el apoyo de:



INDICADOR 21- Cambios distribución de especies- SPOM (CDEspom)

Descripción

Estos modelos consideran el equilibrio de las especies con el clima usando tasas de colonización y extinción (García-Valdés et al. 2013), o incluyendo cambios en el hábitat potencial de las especies debidos a cambios en el uso (García-Valdés et al. 2015). En un contexto de cambio climático se esperan cambios en la distribución de las especies, asociados a los cambios ambientales. Por lo tanto, consideramos el cambio en la distribución de especies, basado en procesos demográficos como un *indicador de vulnerabilidad*.

Metodología

Para calcular los cambios en la distribución de especies mediante tasas de colonización y extinción y/o cambios en el uso del suelo (CDEspom, ver Tabla 7) se hará uso de datos de tasas de colonización y extinción y/o cambios en el uso del suelo (ver García-Valdés et al. 2013, 2015) que pueden ser obtenidos del **Inventario Forestal Nacional (IFN)**.

Para calibrar el modelo se podrá hacer uso de las diferentes técnicas estadísticas disponibles, que pueden ser las mismas que para los indicadores anteriores (CDEpa y CDErp).

Evaluación

Este indicador se medirá de forma puntual.

INDICADOR 22- Resiliencia, resistencia y recuperación (RES, RST, REG)

Descripción

Se espera un incremento de los impactos asociados al cambio climático, y al resto de motores de cambio global, en los ecosistemas forestales (Allen et al. 2015, Herrero & Zavala 2015). Estos impactos pueden alterar la composición, estructura y funcionamiento de los bosques, peligrando así los servicios ecosistémicos que proveen a la sociedad (Allen & Breshears 1998, Anderegg et al. 2013). En el actual contexto de cambio climático los eventos climáticos extremos como las sequías severas, las olas de calor o las heladas representan perturbaciones que pueden afectar las principales tasas demográficas de las especies dominantes en los ecosistemas forestales: crecimiento, reclutamiento y supervivencia. En zonas estacionalmente secas (como la mediterráneas) las sequías extremas son perturbaciones relativamente comunes que pueden reducir el crecimiento (e.g. Herrero & Zamora 2014), la regeneración (e.g. Mendoza et al. 2009) y la supervivencia (e.g. Herrero et al. 2013) de las especies dominantes que proporcionan la estructura característica a los ecosistemas forestales. En el futuro se prevé un aumento en la intensidad y frecuencia de los eventos climáticos extremos (IPCC 2013). En este contexto, el concepto de *resiliencia* está cobrando cada vez más importancia dentro de la comunidad científica y del ámbito de la gestión de los recursos naturales (Herrero & Zavala 2015, Reyer et al. 2015). La **resiliencia** se puede definir como la capacidad de un ecosistema, comunidad o individuo para recuperarse después de una perturbación y recobrar su estructura y función previas dicha perturbación (Holling 1996, Scheffer et al. 2001). La **resistencia** es un concepto comúnmente asociado a la resiliencia y se define como la fuerza ejercida por un ecosistema, comunidad o individuo en sentido opuesto al cambio ejercido por una perturbación.

Los índices de resiliencia, recuperación y resistencia se pueden calcular para las diferentes tasas demográficas (crecimiento, regeneración y supervivencia) siempre que se tengan datos antes, durante y después de la perturbación. Por lo tanto, es muy recomendable promover protocolos para un seguimiento continuo de las tasas demográficas en las especies dominantes de los bosques objeto de estudio. Hay que tener en cuenta que la ocurrencia de eventos climáticos extremos es difícil de predecir y que la obtención de series de datos sobre tasas demográficas puede proporcionar otro tipo de información relevante para la ACC, como

por ejemplo los cambios en la distribución de especies. Disminuciones simultáneas en el crecimiento, reclutamiento y supervivencia en un área concreta pueden estar indicando una retracción o disminución del área de distribución de la especie en cuestión. Por lo tanto, consideramos los índices de resiliencia, resistencia y recuperación como indicadores de **vulnerabilidad, adaptación e impacto**. Por un lado, la evaluación de la resiliencia nos proporcionará información relativa a la capacidad de los individuos de recuperarse tras un evento de sequía, mientras que la resistencia y la recuperación nos informará del impacto de dicho evento en los juveniles.

Metodología

El índice de resiliencia (RES), resistencia (RST) y recuperación (REC) (ver Tabla 7) hará uso de datos de crecimiento procedentes de las **ordenaciones de montes (OM)** o **dendrocronología** y será calculado usando el método descrito por (Lloret et al. 2011)::

$$RES = \frac{PostPb}{PrePb}$$

$$RST = \frac{Pb}{PrePb}$$

$$REC = \frac{PostPb}{Pb}$$

Donde, *PrePb* hace referencia al valor medio de la tasa demográfica (crecimiento, regeneración, reclutamiento, reproducción y/o supervivencia) en los dos años previos a la perturbación, *PostPb* al valor medio de la tasa demográfica en los dos años posteriores a la perturbación y *Pb* al valor de la tasa demográfica durante el año de la perturbación, considerando como perturbación un año con una sequía elevada.

Evaluación

Este indicador se medirá de forma puntual.

INDICADOR 23- Bosque Mixto- (BMI)

Descripción

Un bosque mixto es una “unidad forestal” donde al menos dos especies de árbol coexisten en cualquier fase de desarrollo, compartiendo el uso del agua, nutrientes y luz. Un bosque mixto puede definirse (y cuantificarse) a nivel de la composición de especies, distribución y variedad de clases de tamaño, así como de la variedad de formas morfológicas y fisiológicas características de cada especie para usar los recursos o hacer frente a perturbaciones (i.e. grupos funcionales). Los bosques mixtos al ser, en un sentido amplio, más complejos que los bosques monoespecíficos, contienen un gran potencial para ser fuente importante de servicios ecosistémicos. Por ejemplo, estudios científicos muestran una mayor estabilidad frente a perturbaciones o mayor productividad y diversidad de fauna y flora en bosques mixtos en comparación a bosques monoespecíficos. Sin embargo, estos beneficios dependen de la combinación de especies, así como de las condiciones ambientales y de perturbación. Es por ello que, dado un determinado contexto ecológico, bosque mixto y la configuración de sus componentes se considera como un **indicador de adaptación**.

Metodología

La obtención de datos será a través de Métodos de campo (MC). Se establecerán 10 transectos de 20 m de largo por 5 m de ancho. En el transecto se anotará el número y especie de individuos adultos (diámetro a la altura del pecho, d.a.p > 75 mm y altura > 130 cm). Para cada individuo adulto se medirán el diámetro a la altura del pecho y la altura. Adicionalmente se contarán dentro del transecto el número de individuos juveniles para cada especie (d.a.p < 75 mm y altura < 130 cm). Estos datos se utilizarán para obtener distintos componentes de los bosques mixtos:

- Composición de especies del bosque
 - (i) Riqueza de especies: número de especies en el rodal.
 - (i) Diversidad de especies: número de especies considerando la abundancia relativa (p.ej. ocupación en densidad o área bisimétrica) de cada una en el rodal. Se utilizará el índice de Shannon-Weaver (H):

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \times \ln(p_i)$$

Donde p_i es la abundancia de la especie i relativa al número total de especies S .

- Distribución de tamaños y diversidad estructural. Las medidas de d.a.p y altura se utilizarán para calcular:
 - (i) Estadísticos descriptivos de centralidad (media y mediana), dispersión (mínimo, máximo, rango, desviación típica y coeficiente de variación) y distribución (curtosis y sesgo).
 - (ii) Índice de diversidad de tamaños a nivel de especie y de comunidad. Se utilizará el índice de Shannon-Weaver (H , ver diversidad de especies), donde p_i es la proporción de área bisimétrica de la clase diatérmica (o de altura) i y S el número total de clases diatérmicas (o de altura).
- Composición funcional. A nivel funcional podrán clasificarse las especies presentes de acuerdo a grupos o estrategias funcionales relevantes según el contexto ecológico. Por ejemplo, las especies de un rodal podrán clasificarse según si estas presentan rasgos o estrategias de resistencia o recuperación ante un fuego (p.ej. capacidad de rebrote, banco de semillas, corteza gruesa, elevada altura de copa) o ante un episodio de sequía (p.ej. esclerofilia, densidad de madera alta, área específica foliar reducida). Dada la gran variedad de rasgos y que su funcionalidad depende del contexto ecológico, los conocimientos previos del gestor forestal así como la consulta de datos a nivel de especie en TRY (<https://www.try-db.org>) serán clave para clasificar y evaluar si una combinación de especies resulta ventajosa para la funcionalidad y la adaptabilidad del bosque ante el cambio climático.

Evaluación

Este indicador se medirá en la fase inicial del proyecto (primer muestreo) para estimar el potencial de funcionalidad y adaptación de los bosques estudiados. Idealmente las mediciones se harán con una periodicidad a medio plazo (5 años) y se analizarán sus tendencias a lo largo del tiempo. Se considera indicador ACC favorable (i) valores altos de los distintos componentes que definen un bosque mixto o combinaciones de especies que aportan una

Con el apoyo de:



mayor capacidad funcional y estabilidad ante perturbaciones, (ii) el mantenimiento o aumento a lo largo del tiempo del grado de diversidad, la transición de bosque monoespecífico a mixto y la promoción de combinaciones de especies favorables para la adaptación del bosque al cambio climático.

Tabla 7. Indicadores complementarios ACC a testar mediante datos de modelización, ordenaciones de montes e inventario forestal nacional

Sistema de indicadores complementarios - La certificación forestal como instrumento de gestión forestal adaptativa												
Evaluación de los impactos y de la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático en superficie certificada FSC en España												
ID Indicador	Indicador	Grupo	Objetivo que evalúa	Tipo	Descripción	Fuente/Bases de datos	Variable analizada	Nivel de aplicación	Forma de medición	Unidad de medida	Periodicidad	Tendencia deseada
18-CDEpa	Cambios en la distribución de especies – presencia - ausencia	Complementarios	Evaluación de la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático	Vulnerabilidad	Se aplicarán modelos climáticos de nicho para estimar si la distribución de especies actuales se espera que desaparezca bajo escenarios de cambio climático.	IFN	Cambios en la idoneidad del hábitat para cada especie	Especie	Idoneidad del hábitat	%	Dependiendo disponibilidad de inventarios	No cambio
19-CDErp	Cambios en la distribución de especies – regiones de procedencia	Complementarios	Evaluación de la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático	Vulnerabilidad	Se aplicarán modelos climáticos de nicho para cada una de las regiones de procedencia de la especie, para estimar si la distribución actual de cada grupo genético se espera que cambie bajo escenarios de cambio climático	Regiones de procedencia	Cambio en la idoneidad del hábitat para cada grupo genético.	Especie	Idoneidad del hábitat	%	-	No cambio
20-CDEdem	Cambios en la distribución de especies – demografía	Complementarios	Evaluación de la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático	Vulnerabilidad	Se aplicarán modelos climáticos de usando datos demográficos de la especie, para estimar si la distribución de especies actuales se espera que desaparezca bajo escenarios de cambio climático.	IFN	Cambio en la idoneidad del hábitat para cada especie	Especie	Idoneidad del hábitat	%	Dependiendo disponibilidad de inventarios	No cambio
21-CDEspom	Cambios en la distribución de especies – SPOM	Complementarios	Evaluación de la vulnerabilidad ante los efectos	Vulnerabilidad	Se aplicarán modelos climáticos de usando datos de cambio de uso de suelo y/o tasas de	IFN	Cambio en la idoneidad del hábitat para cada especie	Especie	Idoneidad del hábitat	%	Dependiendo disponibilidad de inventarios	No cambio

Tabla 7. Indicadores complementarios ACC a testar mediante datos de modelización, ordenaciones de montes e inventario forestal nacional

Sistema de indicadores complementarios - La certificación forestal como instrumento de gestión forestal adaptativa												
Evaluación de los impactos y de la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático en superficie certificada FSC en España												
ID Indicador	Indicador	Grupo	Objetivo que evalúa	Tipo	Descripción	Fuente/Bases de datos	Variable analizada	Nivel de aplicación	Forma de medición	Unidad de medida	Periodicidad	Tendencia deseada
			del cambio climático		colonización o extinción de la especie si la distribución de especies actuales se espera que desaparezca bajo escenarios de cambio climático.							
22- RES, RST, RCU	Índices de resiliencia, resistencia y recuperación	Complementarios	Evaluación de la vulnerabilidad, impacto y adaptación ante los efectos del cambio climático	Vulnerabilidad impacto, adaptación	Crecimiento, regeneración, supervivencia en la/s especie/s principal/es, y posteriormente cálculo de la resiliencia/resistencia	OM, DE	Resiliencia, resistencia y recuperación por especie	Especie	$RES = \frac{PostPb}{PrePb}$ $RST = \frac{Pb}{PrePb}$ $REC = \frac{PostPb}{Pb}$	Adimensional	Quinquenal	Aumento o no cambio
23- BMI	Bosque mixto	Complementarios	Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación ante los efectos del cambio climático	Vulnerabilidad adaptación	Composición de especies, distribución de tamaños y diversidad estructural, composición funcional	MC, Base de datos TRAIT	Composición de especies, distribución de tamaños y diversidad estructural, composición funcional	Monte	$H = - \sum_{i=1}^s p_i \times \ln(p_i)$	Adimensional	Quinquenal	Aumento o no cambio

2.4.3 Indicadores candidatos

INDICADOR 24- Rasgos adaptativos (ISO)

Descripción

Los rasgos adaptativos son aquellos elementos del individuo o especie que tienen relevancia en el funcionamiento del mismo y que han sido favorecidos mediante procesos de selección natural permitiendo la adaptación del individuo o la especie en unas condiciones concretas. Los efectos negativos del cambio climático pueden tener efectos variables en individuos o especies con rasgos adaptativos variables. De esta manera, por ejemplo, el cambio climático podría afectar en menor medida a aquellos genotipos o individuos que han adquirido rasgos o características de adaptación a las condiciones de sequía (i.e. un uso más eficiente del sistema fotosintético, Hoffmann & Sgrò 2011). Por lo tanto, consideramos los rasgos adaptativos ***indicadores de vulnerabilidad***.

Metodología

Para medir los rasgos adaptativos utilizaremos los isótopos estables de carbono (ISO, ver Tabla 8), que aportan información sobre la eficiencia del uso del agua. Para medir los isótopos de carbono se utilizarán **MC** y se establecerán 10 parcelas circulares de 5 metros de diámetro, dentro de las cuales se recogerán muestras de hoja de varios individuos de las diferentes especies de estudio. Las muestras serán secadas y procesadas en base a los protocolos específicos para ser enviadas al laboratorio especializado.

Evaluación

Este indicador se medirá de forma puntual, ya que la adaptabilidad genética de la especie cambia lentamente, por lo que no se esperan cambios bruscos.



INDICADOR 25- Heritabilidad y capacidad evolutiva (HER)

Descripción

La heritabilidad de un rasgo aporta información de la proporción del fenotipo que viene definido genéticamente (e.g. no es modelado por el ambiente), mientras que la capacidad evolutiva indica la capacidad de ese rasgo para evolucionar y modificarse. Ambos son de gran relevancia en un contexto de cambio climático (Hoffmann & Merilä 1999), por ello los consideramos *indicadores de vulnerabilidad*. Asumimos que una elevada heritabilidad y capacidad adaptativa es considerado como un indicador ACC favorable.

Metodología

Para medir la heritabilidad y capacidad adaptativa de un rasgo (HER) se requiere realizar ensayos de procedencia en condiciones homogéneas (ver Tabla 8). Para ello se colectarán al menos 10 semillas de cada individuo de la/s especie/s de estudio en el monte o montes a evaluar y se sembrarán en condiciones homogéneas. El diseño del ensayo deberá ser un diseño jerarquizado, donde haya representación de las familias (i.e. las 10 semillas recogidas de un mismo árbol madre). Una vez pasado el periodo de crecimiento se medirán diferentes rasgos funcionales que serán evaluados.

La **heritabilidad** será definida en base a la siguiente ecuación:

$$h^2 = \frac{V_A}{V_P} = \frac{4 V_{fam}}{V_{fam} + V_{res}}$$

Donde V_A es la varianza genética aditiva y V_P es la varianza fenotípica, definida por la varianza de la familia V_{fam} , y la varianza residual V_{res} . Mientras que la **capacidad evolutiva** será definida mediante la ecuación:

$$CV_A = \frac{\sqrt{V_A}}{\mu_{Trait}} \times 100$$

Donde μ_{Trait} es la media del rasgo de interés

Evaluación

Este indicador se medirá de forma puntual, ya que la heritabilidad y capacidad evolutiva de la especie cambia lentamente, por lo que no se esperan cambios bruscos.

Con el apoyo de:



INDICADOR 26- Diversidad genética y riqueza de alelos (DGE)

Descripción

La diversidad genética es un pre-requisito básico para favorecer la adaptación de los individuos o especies ante condiciones nuevas y en concreto ante condiciones de cambio climático. Por ello consideramos la diversidad genética y riqueza de alelos como un **indicador de vulnerabilidad**. Asumimos que una elevada diversidad genética y riqueza de alelos es considerado como un indicador ACC favorable.

Metodología

Para medir la diversidad genética y riqueza de alelos (DGE, ver Tabla 8) se utilizarán **MC** y se establecerán 10 parcelas circulares de 5 metros de diámetro, dentro de las cuales se recogerán muestras de hoja de varios individuos de las diferentes especies de estudio. Las muestras serán llevadas al laboratorio donde serán procesadas mediante protocolo específico y mediante el uso de marcadores moleculares se obtendrán los valores específicos para cada marcador. A continuación, se utilizarán los índices de heterocigosidad esperada para determinar la diversidad, y se calculará la riqueza en base al número de alelos para cada marcador genético.

Evaluación

Este indicador se medirá de forma puntual, ya que la adaptabilidad genética de la especie cambia lentamente, por lo que no se esperan cambios bruscos.

Tabla 8. Indicadores candidatos ACC a testar mediante datos de laboratorio y métodos de campo

Sistema de indicadores candidatos - La certificación forestal como instrumento de gestión forestal adaptativa												
Evaluación de los impactos y de la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático en superficie certificada FSC en España												
ID Indicador	Indicador	Grupo	Objetivo que evalúa	Tipo	Descripción	Fuente/Bases de datos	Variabl e analizada	Nivel de aplicación	Forma de medición	Unidad de medida	Periodicidad	Tendencia deseada
24-ISO	Rasgos adaptativos 1	Candidatos	Evaluación de la sensibilidad ante los efectos del cambio climático	Sensibilidad	Se usarán MC específicos para medir diferentes rasgos adaptativos (i.e. isótopos de carbono) de la/s especie/s principal/es y/o de las regiones de procedencia, y se contrastarán entre sí para determinar aquellas zonas de mayor sensibilidad.	MC	Eficiencia uso del agua	Individuo	Isótopos de Carbono ‰	δC^{13}	Decanal	Aumento o no cambio
25-HER	Heritabilidad y capacidad evolutiva	Candidatos	Evaluación de la sensibilidad ante los efectos del cambio climático	Sensibilidad	Se recolectarán semillas de la/s especie/s principal/es en los montes de estudio situados en diferentes regiones de procedencia para realizar un ensayo en condiciones controladas donde se obtendrán valores de heritabilidad y capacidad evolutiva para el/los rasgo/s adaptativo/s estudiado/s.	MC/LAB	Ver fórmula heritabilidad y evolvabilidad	Individuo	i.e. altura máxima, área específica de la hoja, biomasa de la semilla, densidad de estomas	-	Decanal	Aumento o no cambio
26-DGE	Diversidad genética y riqueza de alelos	Candidatos	Evaluación de la sensibilidad	Sensibilidad	Se recolectarán muestras (i.e. 20) de hoja o semilla de la/s especie/s principal/es en los montes de estudio situados en diferentes regiones de procedencia para realizar análisis genéticos mediante el uso de marcadores moleculares (i.e. microsatélites). Los resultados serán contrastados entre sí y con información bibliográfica para determinar aquellas zonas de mayor diversidad y/o sensibilidad.	MC/LAB	Diversidad genética y riqueza de alelos	Individuo	Recolección de material en campo y genotipado en laboratorio	-	Decanal	Aumento o no cambio

2.5 Sistema de evaluación de los indicadores

Los indicadores troncales anteriormente descritos serán evaluados en cada periodo de monitorización conforme a las directrices especificadas en cada uno de los indicadores. Para cada uno de los indicadores troncales, se propone que un experto u organismo experto realice el seguimiento y análisis de datos, así como su posterior evaluación teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- i. El enfoque es flexible donde el experto puede seleccionar el método más adecuado para evaluar el indicador, así como utilizar la información adicional que precise necesaria para emitir el juicio de valor sobre el estado de dicho indicador, que será descrito como bajo, medio o alto, pudiéndose también encontrar el indicador en una categoría intermedia (i.e. cuando se encuentra entre dos niveles, Figura 7 y 8). El valor del indicador será combinado para cada uno de los bloques de indicadores relevantes a la ACC (peligro, vulnerabilidad, impacto Figura 7; adaptación Figura 8).

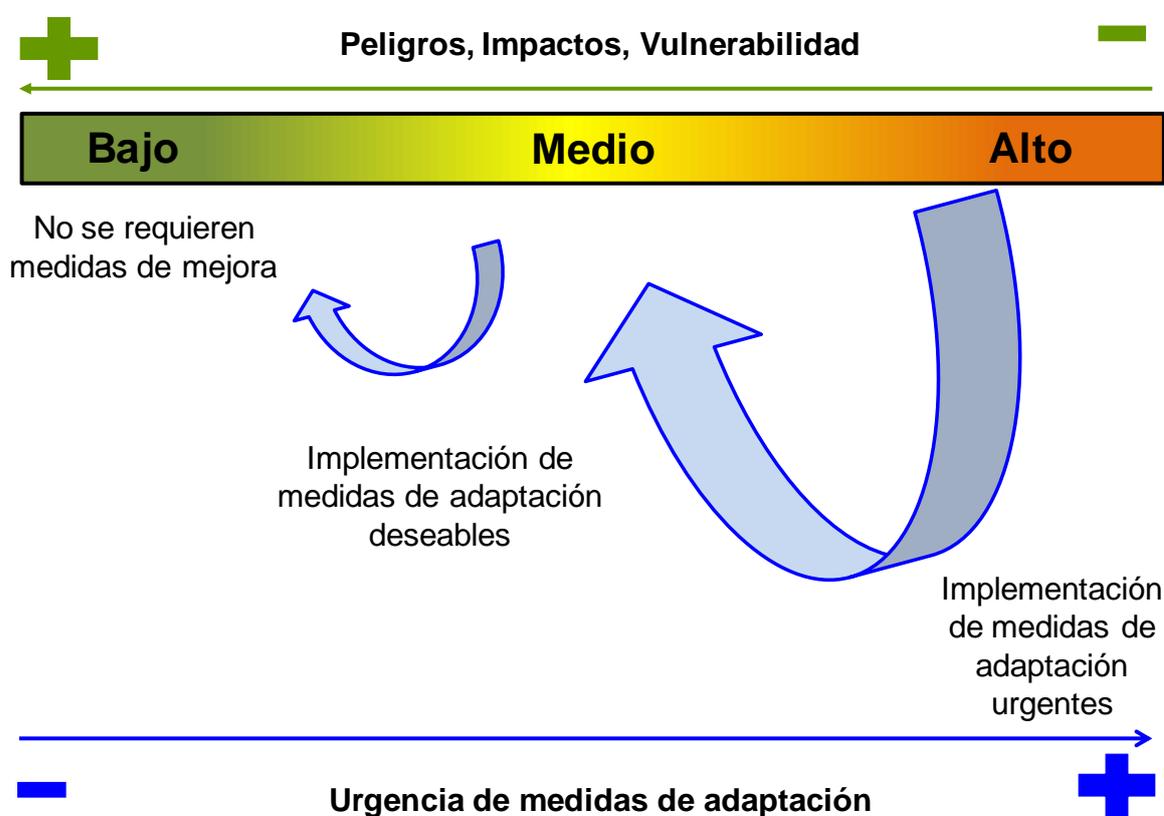


Figura 7. Categorías semi-cualitativas para determinar los peligros, impactos y vulnerabilidad del sistema forestal al cambio climático.

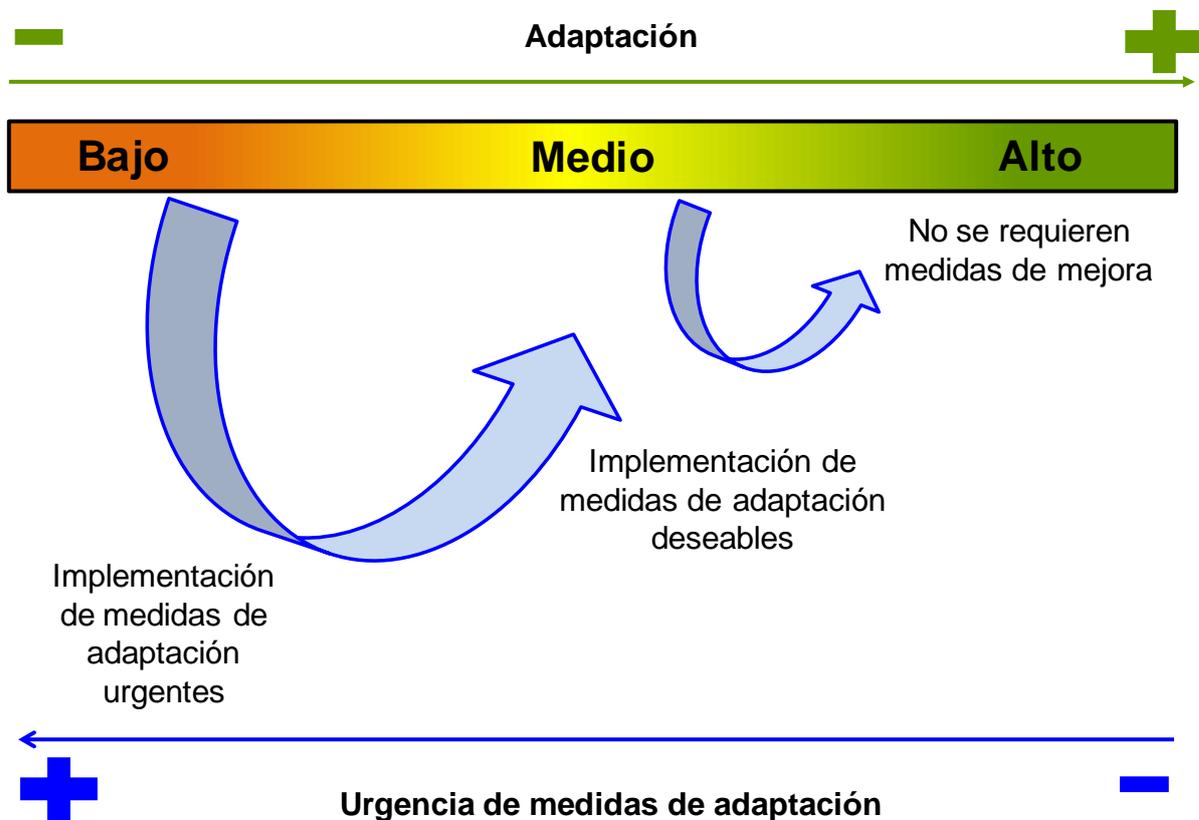


Figura 8. Categorías semi-cualitativas para determinar la adaptación del sistema forestal al cambio climático.

- ii. El proceso de seguimiento, análisis y evaluación de datos se plasmará para cada indicador en una ficha resumen.
- iii. Los indicadores serán evaluados para cada periodo de seguimiento, conforme al proceso de evaluación descrito en cada uno de los indicadores. En cada periodo de seguimiento se propondrán medidas de adaptación urgentes o deseables y se propondrán o modificarán indicadores específicos para evaluar su adecuación (Figura 4).
- iv. Una vez evaluados y sometidos a un proceso de revisión podrán ser comunicados interna y externamente mediante las categorías anteriormente descritas o un sistema simplificado equivalente. El resultado de dicha evaluación permitirá desarrollar medidas para la mejora del estado de dicho indicador.



Con el apoyo de:



20
AÑOS



Proceso de implementación y mejora del sistema preliminar de indicadores de impacto y adaptación al cambio climático

Junto con el diseño del sistema preliminar de indicadores de impactos y adaptación al cambio climático en los sistemas forestales, se llevará a cabo un proceso de revisión y ajuste. En particular, cabe destacarse que, dada la cantidad de aspectos considerados, es necesario adoptar un enfoque adaptativo y progresivo del seguimiento de la adaptación. Se sugieren los elementos en el proceso de mejora continua del sistema de indicadores:

(i) Los evaluadores expertos juegan un papel clave documentando la calidad y las incertidumbres metodológicas asociadas al cálculo de sus indicadores en la ficha técnica del indicador. A través de la puesta en común de los resultados puede evaluarse de forma integral la información de los distintos indicadores del sistema; (ii) Existe una gran diversidad de actores que pueden implicarse en la mejora continua de la calidad del sistema mediante herramientas de participación.

Referencias

- Aitken SN, Yeaman S, Holliday JA, Wang T, Curtis-McLane S (2008) Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications* 1: 95–111.
- Alfaro RI, Fady B, Vendramin GG, Dawson IK, Fleming RA, Sáenz-Romero C, Lindig-Cisneros RA, Murdock T, Vinceti B, Navarro CM, Skrøppa T, Baldinelli G, El-Kassaby YA, Loo J (2014) The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change. *Forest Ecology and Management* 333: 76–87.
- Alía R, Garcia del Barrio JM, Iglesias S, Mancha JA, de Miguel J, Nicolás JL, Pérez-Martín F, Sánchez de Ron D (2009) Regiones de procedencia de especies forestales en España. DGB, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid.
- Allen CD, Breshears DD, McDowell N (2015) On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere* 6: 129.
- Allen CD, Macalady AK, Chenchouni H, Bachelet D, McDowell N, Vennetier M, Kitzberger T, Rigling A, Breshears DD, Hogg EH (Ted), Gonzalez P, Fensham R, Zhang Z, Castro J, Demidova N, Lim J-H, Allard G, Running SW, Semerci A, Cobb N (2010) A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259: 660-684.
- Ameztegui A, Cabon A, Cáceres M De, Coll L (2017) Managing stand density to enhance the adaptability of Scots pine stands to climate change: A modelling approach. *Ecological Modelling* 356: 141-150.
- Aspizua R, Bonet FJ, Zamora R, Sánchez FJ, Henares I (2010) El observatorio de cambio global de Sierra Nevada: hacia la gestión adaptativa de los espacios naturales. *Ecosistemas* 19: 56-68
- Augspurger CK (2009) Spring 2007 warmth and frost: phenology, damage and refoliation in a temperate deciduous forest. *Functional Ecology* 23: 1031-1039.
- Benito-Garzón M, Alía R, Robson TM, Zavala MA (2011) Intra-specific variability and plasticity influence potential tree species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography* 20:766–778.
- Benito-Garzón M, Ruiz-Benito P, Zavala MA (2013) Interspecific differences in tree growth and mortality responses to environmental drivers determine potential species

distributional limits in Iberian forests. *Global Ecology and Biogeography* 18: 1092-1096.

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: 169-178.

Camarero JJ, Gazol A, Sangüesa-Barreda G, Oliva J, Vicente-Serrano SM (2015) To die or not to die: early-warning signals of dieback in response to a severe drought. *Journal of Ecology* 103: 44-57

Candel-Pérez D, Linares JC, Viñebla B, Lucas-Borja ME (2012) Assessing climate – growth relationships under contrasting stands of co-occurring Iberian pines along an altitudinal gradient. *Forest Ecology and Management* 274:48–57

Carnicer J, Coll M, Ninyerola M, Pons X, Sánchez G, Peñuelas J (2011) Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proc Natl Acad Sci U S A* 108:1474–1478

Cavers S, Cottrell JE (2014) The basis of resilience in forest tree species and its use in adaptive forest management in Britain. *Forestry* 88:13–26

Cote SD, Rooney TP, Tremblay JP, et al (2004) Ecological impacts of deer overabundance. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 35:113–147

Dawson TP, Jackson ST, House JI, Prentice IC, Mace GM (2011) Beyond Predictions: Biodiversity Conservation in a Changing Climate. *Science* 332: 53-58.

DeSalle R, Amato G (2004) The expansion of conservation genetics. *Nat Rev Genet* 5: 702–712.

Díaz S, Purvis A, Cornelissen JHC, Mace GM, Donoghue MJ, Ewers RM, Jordano P, Pearse WD (2013) Functional traits, the phylogeny of function, and ecosystem service vulnerability. *Ecology and Evolution* 3: 2958–2975.

Dobbertin M, Brang P (2001) Crown defoliation improves tree mortality models. *Forest Ecology and Management* 141: 271-284.

Dukes JS, Pontius J, Orwig D, Garnas JR, Rodgers VL, Brazee N, Cooke B, Theoharides KA, Stange EE, Harrington R, Ehrenfeld J, Gurevitch J, Lerda M, Stinson K, Wick R, Ayres M (2009) Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: What can we predict? *Canadian Journal of Forest Research* 248: 231-248.

Ellegren H, Ellegren N (2016) Determinants of genetic diversity. *Nat Publ Gr* 17:422–433

Ennos AR (1997) Wind as an ecological factor. *Trends Ecology and Evolution* 12: 108-111.

EEA (2014) Digest of EEA indicators 2014. European Environmental Agency

Eurostat (2015) Towards a harmonised methodology for statistical indicators. Part 1: Indicator typologies and terminologies. Eurostat.

Fady B, Aravanopoulos FA, Alizoti P, Mátyás C, Wühlisch G von, Westergren M, Belletti P, Cvjetkovic B, Ducci F, Huber G, Kelleher CT, Khaldi A, Kharrat MBD, Kraigher H, Kramer K, Mühlethaler U, Peric S, Perry A, Rousi M, Sbay H, Stojnic S, Tijardovic M, Tsvetkov I, Varela MC, Vendramin GG, Zlatanov T (2016a) Evolution-based approach needed for the conservation and silviculture of peripheral forest tree populations. *Forest Ecology and Management* 375: 66-75.

Fady B, Cottrell J, Ackzell L, Alía R, Muys B, Prada A, González-Martínez SC (2016b) Forests and global change: what can genetics contribute to the major forest management and policy challenges of the twenty-first century? *Regional Environmental Change* 16: 927–939.

FAO (2014) The state of the world's forest genetic resources. Commission on genetic resources for food and agriculture, Rome, Italy.

Folke C, Carpenter S, Walker B, Scheffer M, Elmqvist T, Gunderson L, Holling CS (2004) Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35: 557-581.

Furness RW & Greenwood JJD (1993) Birds as monitors of environmental change. Chapman & Hall, London.

Gamfeldt L, Snäll T, Bagchi R, Jonsson M, Gustafsson L, Kjellander P, Ruiz-Jaen MC, Froberg M, Stendahl J, Philipson CD, Mikusinski G, Andersson E, Westerlund B, Andren 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.

Gazol A, Camarero JJ (2016) Functional diversity enhances silver fir growth resilience to an extreme drought. *Journal of Ecology* 104: 1063-1075.

Gazol A, Camarero JJ, Vicente-Serrano SM, Sánchez-Salguero R, Gutiérrez E, Luis M de, Sangüesa-Barreda G, Novak K, Rozas V, Tíscar PA, Ribas M, García-González I, Silla F, Camisón A, Génova M, Olano JM, Longares LA, Hevia A, Tomás-Burguera M, Galván JD (2018) Forest resilience to drought varies across biomes. *Global Change Biology* 24: 2143–2158



García-Valdés R, Zavala MA, Araújo MB, Purves DW (2013) Chasing a moving target: projecting climate change-induced shifts in non-equilibrium tree species distributions. *Journal of Ecology* 101:441-453.

García-Valdés R, Svenning J-C, Zavala MA, Purves DW, Araújo MB (2015) Evaluating the combined effects of climate and land-use change on tree species distributions. *Journal of Applied Ecology* 52: 902-912.

Gracia C, Espelta JM, Cotillas M, Sabate S (2009) Growth response of mixed mediterranean oak coppices to rainfall reduction. Could selective thinning have any influence on it? *Forest Ecology and Management* 258:1677–1683

Gu L, Hanson PJ, Post WMAC, Dale P (2008) The 2007 Eastern US spring freeze: increased cold damage in a warming world? *Bioscience* 58:253–262

Hampe A, Petit RJ (2005) Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters. *Ecology Letters* 8: 461-467.

Hedden RL, Fredericksen TS, Williamns SA (1995) Modeling the effect of crown shedding and streamlining on the survival of loblolly pine exposed to acute wind. *Canadian Journal of Forest Research* 25): 704-712

Herrero A, Rigling A, Zamora R (2013) Varying climate sensitivity at the dry distribution edge of *Pinus sylvestris* and *P. nigra*. *Forest Ecology and Management* 308: 50-61.

Herrero A, Zamora R (2014) Plant responses to extreme climatic events: a field test of resilience capacity at the southern range edge. *Plos ONE* 9: e87842.

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, España.

Holling CS (1996) Engineering resilience versus ecological resilience. En: *Engineering within ecological constraints* (ed Schulze PC) Washington D.C., USA., National Academy Press.

Hoffmann AA, Merilä J (1999) Heritable variation and evolution under favourable and unfavourable conditions. *Tree* 14: 96–101

Hoffmann AA, Sgrò CM (2011) Climate change and evolutionary adaptation. *Nature* 470:479-485

Inouye DW (2000) The ecological and evolutionary significance of frost in the context of climate change. *Ecology Letters* 3: 457-463.



IPCC (2007) *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Cambridge, UK., Cambridge University Press.

IPCC (2012) *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field CB, V Barros, TF Stocker, D Qin, DJ Dokken, KL Ebi, MD Mastrandrea, KJ Mach, G-K Plattner, SK Allen, M Tignor, PM Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

IPCC (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland.

Jump AS, Hunt JM, Peñuelas J (2006) Rapid climate change-related growth decline at the southern range-edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biology* 12: 2163-2174.

Jump AS, Peñuelas J (2005) Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecology Letters* 8: 1010-1020.

Jump AS, Ruiz-Benito P, Greenwood, S., Allen, C.D., Kitzberger T, Fensham R, Martínez-Vilalta J, Lloret F (2017) Structural overshoot of tree growth with climate variability and the global spectrum of drought-induced forest dieback. *Global Change Biology* 23: 3742-3757.

Kaufman, L.H., 1982. Stream aufwuchs accumulation: disturbance frequency and stress resistance and resilience. *Oecologia* 52, 57–63.

Kilpeläinen A, Gregow H, Strandman H, Kellomäki S, Venäläinen A, Peltola H (2010) Impacts of climate change on the risk of snow-induced forest damage in Finland. *Climate Change* 99: 193-209.

Lafond V, Lagarrigues G, Cordonnier T, Courbaud B (2014) Uneven-aged management options to promote forest resilience for climate change adaptation: effects of group selection and harvesting intensity. *Annals of Forest Science* 71: 173-186.

Laliberté E, Legendre P (2010) A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology* 91: 299-305

Lechuga V, Carraro V, Viñepla B, Carreira JA, Linares JC (2017) Managing drought-sensitive forests under global change. Low competition enhances long-term growth and water uptake in *Abies pinsapo*. *Forest Ecology and Management* 406: 72-82.

Liang J, Crowther TW, Picard N et al. (2016) Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. *Science*, 354.

Linares JC, Camarero JJ, Carreira JA (2010) Competition modulates the adaptation capacity of forests to climatic stress: Insights from recent growth decline and death in relict stands of the Mediterranean fir *Abies pinsapo*. *Journal of Ecology* 98: 592-603.

Lindner M, Maroschek M, Netherer S, Kremer A, Barbati A, Garcia-Gonzalo J, Seidl R, Delzon S, Corona P, Kolström M, Lexer MJ, Marchetti M (2010) Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259: 698-709.

Lindner M, Fitzgerald JB, Zimmermann NE, Reyer C, Delzon S, Maaten E Van Der, Schelhaas M, Lasch P, Eggers J, Maaten-theunissen M Van Der, Suckow F, Psomas A, Poulter B, Hanewinkel M (2014) Climate change and European forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *Journal Environmental Management* 146: 69-83.

Lloret F, Keeling EG, Sala A (2011) Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos* 120: 1909-1920.

MacGillivray C, Grime J (1995) The integrated Screening Programme (ISP) Testing predictions of the resistance and resilience of vegetation subjected to extreme events. *Functional Ecology* 9: 640-649.

Madrigal A (1998) Problemática de la ordenación de masas artificiales en España. *Cuadernos de la Sociedad Española Ciencias Forestales* 6: 13-20.

Madrigal-González J, Herrero A, Ruiz-Benito P, Zavala MA (2017) Resilience to drought in a dry forest: Insights from demographic rates. *Forest Ecology and Management* 389: 167-175.

Mant (2001) Process vs. outcome indicators in the assessment of quality of health care. *International Journal for quality in Health Care* 13: 475-480.

Marqués L., Madrigal-González J, Zavala MA, Camarero JJ, Florian H (2017) Last-century forest productivity in a managed dry-edge Scots pine population: the two sides of climate warming *Ecological Applications* 28: 95-105.

Matías L, Jump AS (2014) Impacts of predicted climate change on recruitment at the geographical limits of Scots pine. *Journal of Experimental Botany* 65:299-310

Matías L, Castro J, Villar-Salvador P, Quero JL, Jump AS (2016) Differential impact of hotter drought on seedling performance of five ecologically distinct pine species. *Plant Ecology* 218: 201-212.



Mendoza I, Gómez-Aparicio L, Zamora R, Matías L (2009) Recruitment limitation of forest communities in a degraded Mediterranean landscape. *Journal of Vegetation Science* 20: 367-376.

Menzel A, Fabian P (1999) Growing season extend in Europe. *Nature* 397:659

MMA (2001) Manual red de nivel II- red de parcelas permanentes para el seguimiento intensivo y continuo de los ecosistemas forestales. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Servicio de Sanidad Forestal y Equilibrios Biológicos. España.

Millar CI, Stephenson NL, Stephens SL (2007) Climate change and forest of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications* 17:2145–2151

Mitchell SJ (2013) Wind as a natural disturbance agent in forests: a synthesis. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 86: 147-157.

Moriondo M, Good P, Durao R, Bindi M, Giannakopoulos C, Corte-Real J (2006) Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Climate Research* 31:85–95

Nykänen M-L, Broadgate M, Kellomäki S, Peltola H, Quine C (1997) Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. *Silva Fennica*, 31: 5618.

Oijen M, Beer C, Cramer W, Rammig A, Reichstein M, Rolinski S, Soussana J-F (2013) A novel probabilistic risk analysis to determine the vulnerability of ecosystems to extreme climatic events. *Environ Research Letters*:1–7

Peñuelas J, Ogaya R, Boada M, Jump AS (2007) Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain). *Ecography* 30:829–837

Prasad PVV, Boote KJ, Allen LHJ, Thomas JMG (2002) Effects of elevated temperature and carbon dioxide on seed-set and yield of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Global Change Biology* 8:710–721

Rodrigo J. 2000. Spring frosts in deciduous fruit trees-morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae*, 85: 155-173.

R Core Team (2012) R: a language and environment for statistical computing. Available at: <http://www.R-project.org> (accessed 17 October 2012)

Reyer CPO, Brouwers N, Rammig A, Brook, B.W., Epila J, Grant, R.F., Holmgren M, Langerwisch F, Leuzinger S, Lucht W, Medlyn B, Pfeifer M, Steinkamp J, Vanderwel



MC, Verbeeck H, Vilella DM (2015) Forest resilience and tipping points at different spatio-temporal scales: approaches and challenges. *Journal of Ecology* 103: 5-15.

Ruiz-Benito P, Gómez-Aparicio L, Zavala MA (2012) Large-scale assessment of regeneration and diversity in Mediterranean planted pine forests along ecological gradients. *Diversity and Distributions* 18:1092–1106

Ruiz-Benito P, Lines ER, Gómez-Aparicio L, Zavala MA, Coomes DA (2013a) Patterns and drivers of tree mortality in Iberian forests: climatic effects are modified by competition. *PLoS ONE* 8

Ruiz-Benito P, Herrero A, Zavala MA (2013b) Vulnerabilidad de los bosques españoles frente al Cambio Climático: evaluación mediante modelos. *Ecosistemas* 22:21–28

Ruiz-Benito P, Benito-Garzón M, García-Valdés R, Gómez-Aparicio L, Zavala MA (2013c) Aplicación de modelos ecológicos para el análisis de la estructura y dinámica de los bosques Ibéricos en respuesta al cambio climático. In: *Aplicaciones de modelos ecológicos a la gestión de recursos naturales*. Blanco, J.A. (Ed). OmniaScience. Barcelona. 77-108 pp.

Ruiz-Benito P, Madrigal-González J, Ratcliffe S, Coomes DA, Kändler G, Lehtonen A, Wirth C, Zavala MA (2014) Stand structure and recent climate change constrain stand basal area change in European forests: a comparison across boreal, temperate, and mediterranean biomes. *Ecosystems* 17:1439–1454

Ruiz-Benito P, Madrigal-González J, Young S et al. (2015) Climatic stress during stand development alters the sign and magnitude of age-related growth responses in a subtropical mountain pine. *PLOS ONE* 10: e0126581.

Ruiz-Benito P, Ratcliffe S, Jump AS, Madrigal-gonz J, Gerald K, Lehtonen A, Dahlgren J, Kattge J, Valle C (2017) Functional diversity underlies demographic responses to environmental variation in European forests. *Global Ecology and Biogeography* 26:128–141

Sánchez-Salguero R, Navarro-Cerrillo RM (2012) Selective drought-induced decline of pine species in southeastern Spain. 767–785

Sánchez-Salguero R, Camarero JJ, Dobbertin M, Fernández-cancio Á, Vilà-Cabrera A, Manzanedo RD, Zavala MA, Navarro-cerrillo RM (2013) Contrasting vulnerability and resilience to drought-induced decline of densely planted vs. natural rear-edge *Pinus nigra* forests copy. *Forest Ecology and Management* 310: 956–967

Sánchez-salguero R, Camarero JJ, Carrer M, Gutiérrez E, Alla AQ, Andreu-Hayles L, Hevia A, Koutavas A, Martínez-Sancho E, Nola P, PApadopoulos A, Pasho E,

- Toromani E, Carreira JA, Linares JC (2017a) Climate extremes and predicted warming threaten Mediterranean Holocene firs forests refugia. *PNAS*: 10142–10150
- Sánchez-Salguero R, Camarero JJ, Gutiérrez E, González Rouco F, Gazol A, Sangüesa-Barreda G, Andreu-Hayles L, Linares JC, Seftigen K (2017b) Assessing forest vulnerability to climate warming using a process-based model of tree growth: bad prospects for read-edges. *Global Change Biology* 23:2705–2719
- Sánchez-Salguero R, Camarero JJ, Rozas V, Génova M, Olano JM, Arzac A, Gazol A, Caminero L, Tejedor E, de Luis M, Linares JC (2018) Resist, recover or both? Growth plasticity in response to drought is geographically structured and linked to intra-specific variability in *Pinus pinaster*. *Journal of Biogeography* 45: 1126-1139.
- Sanz-Elorza M, Dana ED, Gonzalez 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* 92: 273-280.
- Schaberg PG, DeHayes DH, Hawley GJ, Nijensohn SE (2008) Anthropogenic alterations of genetic diversity within tree populations: Implications for forest ecosystem resilience. *Forest Ecology and Management* 256: 855-862.
- Scheffer M, Carpenter S, Foley JA, Folke C, Walker B (2001) Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413: 591-596.
- Schwalm CR, Anderegg WRL, Michalak AM, Fisher JB, Biondi F, Koch G, Litvak M, Ogle K, Shaw JD, Wolf A, Huntzinger DN, Schaefer K, Cook R, Wei Y, Yuanyuan F, Hayes D, Huang M, Jain A, Tian H (2017) Global patterns of drought recovery. *Nature* 548: 202-205.
- Serra-Varela MJ, Grivet D, Vincenot L, Broennimann O, Gonzalo-Jiménez J, Zimmermann NE (2015) Does phylogeographical structure relate to climatic niche divergence? A test using maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Global Ecology and Biogeography* 24: 1302-1313.
- Serra-Varela MJ, Alía R, Daniels RR, Zimmermann NE, Gonzalo-Jiménez J, Grivet D (2017) Assessing vulnerability of two Mediterranean conifers to support genetic conservation management in the face of climate change. *Diversity and Distributions* 23: 507-516.
- Thuiller W, Lafourcade B, Engler R, Araújo MB (2009) BIOMOD – a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography* 32: 369-37
- Tichý L (2016) Field test of canopy cover estimation by hemispherical photographs taken with a smartphone. *Journal Vegetation Science* 27: 427-435.

Timofeeva G, Treydte K, Bugmann H, Rigling A, Schaub M, Siegwolf R, Saurer M (2017) Long-term effects of drought on tree-ring growth and carbon isotope variability in Scots pine in a dry environment. *Tree Physiology* 37: 1028-1041.

Tiscar-Oliver P (2015) Patterns of shrub diversity and tree regeneration across topographic and stand-structural gradients in a Mediterranean forest. *Forest Systems* 24: e011.

UN/ECE (1994) Manual on methods and criteria for harmonised sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Third ed. Programme Co-ordinating Centres, Hamburg and Prague.

Valladares F, Matesanz S, Guilhaumon F, Araújo MB, Balaguer L, Benito-Garzón M, Cornwell W, Gianoli E, van Kleunen M, Naya DE, Nicotra AB, Poorter, H, Zavala, MA (2014) The effects of phenotypic plasticity and local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. *Ecology Letters* 17: 1351-1364.

Vicente-Serrano SM, Tomas-Burguera M, Beguería S, Reig F, Latorre B, Peña-Gallardo M, Luna MY, Morata A, González-Hidalgo JC (2017) A High resolution dataset of drought indices for Spain. *Data* 2: 22.

Vilà-Cabrera A, Coll L, Martínez-Vilalta J, Retana J (2018) Forest management for adaptation to climate change in the Mediterranean basin: A synthesis of evidence. *Forest Ecology and Management* 407: 16-22.

Weemstra M, Eilmann B, Sass-Klaassen UGW, Sterck FJ (2013) Summer droughts limit tree growth across 10 temperate species on a productive forest site. *Forest Ecology and Management* 306: 142-149.

Woodward FI (1987). *Climate and plant distribution*. Cambridge University Press. Cambridge.

Zavala et al. (2017) *Cambio climático, medir para mejorar*. Fundación Canal. Canal de Isabel II. Proyecto de Investigación para el diseño de un sistema preliminar de indicadores de impacto y adaptación al cambio climático en la Comunidad de Madrid. Serv. Public. Fundación Canal de Isabel II, 158 pp.

Zweifel R, Zimmermann L, Zeugin F, Newbery DM (2006) Intra-annual radial growth and water relations of trees: implications towards a growth mechanism. *Journal of Experimental Botany* 57: 1445-1459.

Zunino M, Palestrini C (1991). El concepto de especie y la biogeografía. *Anales de Biología* 17: 85-88.

Con el apoyo de:



20
AÑOS



ANEXOS

- La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa-



Con el apoyo de:



ANEXO 1 - ENCUESTA AGENTES DE INTERÉS (Ejemplo, con variantes en cada monte)

1. Según tu criterio, cuáles son los principales **peligros** del monte en cuya gestión participas de los que se especifican a continuación. Cómo lo valorarías: bajo, medio, alto. Marca con una X el apartado correspondiente.

Peligro	Bajo	Medio	Alto
Temperatura (i.e. heladas tardías, olas de calor)			
Precipitación (i.e. sequía)			
Efecto conjunto de temperatura y precipitación			
Tormentas nieve			
Tormentas viento			
Incendios			

2. Según tu criterio, se han observado **cambios/impactos** en los últimos años con respecto a los siguientes componentes del bosque. Sí o No, Si la respuesta es sí cómo lo valorarías: bajo, medio, alto. Marca con una X el apartado correspondiente e indica el tipo de cambio (i.e. incremento, descenso, etc.).

Cambio/Impacto	Bajo	Medio	Alto
Regeneración de los árboles			
Crecimiento de los árboles			
Mortalidad de los árboles			
Número de frutos			
Período de floración, período de fructificación y/o inicio de caída de hojas			
Plagas o enfermedades en árboles			
Defoliación árboles			
Cambios en coloración de árboles			
Cambios en la composición de aves forestales			
Cambios en la distribución de especies (i.e. especies de zonas más bajas)			

Con el apoyo de:



empiezan a encontrarse en zonas más elevadas)			
---	--	--	--

3. Quien es el propietario del monte en cuya gestión participas: monte público o privado, consorciado o mano común, etc.

4. En el monte en cuya gestión participas hay un plan de gestión

- ¿Quién lo redacta? _____
- ¿Quién lo ejecuta? _____
- ¿Cuánto personal interviene en la gestión? _____
- Cuál es el presupuesto/ingresos derivados de la gestión del monte?

5. Con respecto a la **gestión** del monte, responde a cada uno de los apartados siguientes, especificando tu respuesta.

- Intensidad de la gestión: consideramos que es baja siguiendo el criterio FSC donde la tasa de aprovechamiento es $< 20\%$ del Crecimiento Medio Anual(CMA) y el volumen de aprovechamiento anual es $< 5000 \text{ m}^3$

- ¿Cuál es el método de ordenación, tratamiento selvícola principal, turno de corta y edad de regeneración?

- Como es la estructura de la masa: coetánea o irregular

- Hay tratamientos intermedios o de mejora (tienen por objetivo favorecer el estado vegetativo de las masas forestales y de sus individuos)

Con el apoyo de:



- Hay algún tratamiento para favorecer la biodiversidad (i.e. Mantenimiento de claros y prados, tratamientos diferenciales en los bordes de masa, mantenimiento de enclaves de vegetación diferente a la principal, bosques de galería y vegetación riparia...)

- Qué medidas de prevención de incendios se establecen: ruptura de la continuidad horizontal y vertical de los combustibles y reducción de la carga de combustibles, áreas cortafuegos o fajas auxiliares de reducción de la carga de combustibles apoyadas en caminos, pistas o carreteras, otros.

- Hay presencia de otros usos no madereros: cinegético, recreativo, protección física o paisajística, reserva biológica, cuarteles fuera de ordenación, producción de resina, corcho, fruto o pastos.

- Cómo se favorece la diversidad de especies (e.g. masa mixta, diversidad de estratos, etc)

- Hay presencia de especies no autóctonas

6. En el inventario del plan de ordenación, ¿es viable aumentar las variables de medida?

7. Se ha detectado presencia de **herbivoría** (principalmente mamíferos y/o insectos que se alimentan de la hoja, brotes, etc.). Cómo lo valorarías: bajo, medio, alto

Con el apoyo de:



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



Fundación Biodiversidad

20 AÑOS



8. Desde el punto de vista de la gestión, ¿qué acciones crees que podrían llevarse a cabo para favorecer una adaptación de la masa forestal al cambio climático?

9. Si lo deseas, indica cualquier otro aspecto que consideres relevante dentro del ámbito de la gestión forestal adaptativa y los impactos del cambio climático en los bosques.

Con el apoyo de:



20
AÑOS



ANEXO 2 – FICHAS INDICADORES

Con el apoyo de:



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



20 AÑOS



La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa

Indicador: Regeneración (REG)	<p>Descripción: La regeneración, ya sea por semilla, vegetativa o mediante repoblación, constituye una condición fundamental para el mantenimiento a largo plazo de los ecosistemas forestales. La regeneración es un parámetro demográfico que puede verse afectado de forma considerable por las condiciones climáticas (i.e. una sequía intensa), por lo que lo consideramos como un indicador de impacto.</p>
Unidad de medida: Nº individuos regenerados/hectárea	<p>Metodología: La obtención de datos será a través de Métodos de campo (MC)</p> <p>Se establecerán 10 transectos, cada uno de 20 metros de largo. En el transecto se anotará el número y especie de individuos regenerados, así como el número total de individuos (incluyendo regenerado y adulto).</p> <p>Individuos regenerados serán aquellos individuos con un diámetro a la altura del pecho (d.a.p.) < 75 mm y altura < 130 cm. Individuos adultos serán aquellos individuos con diámetro a la altura del pecho (d.a.p.) > 75 mm y altura > 130 cm.</p>
Nivel de aplicación: Bosque o rodal	<p>El indicador de regeneración (REG) será expresado como el número de individuos regenerados con respecto al área de muestreo expresada en hectáreas y se hará la media de todos los transectos:</p>
Periodicidad: Anual	$REG = \frac{\sum \left(\frac{r_1}{t_{r1}} + \frac{r_2}{t_{r2}} + \dots + \frac{r_n}{t_{rn}} \right)}{n}$ <p>Donde r_x es el número de individuos regenerados para cada transecto, t_{rx} es el área de cada transecto expresada en hectáreas, y n es el número total de transectos.</p>
Tendencia deseada: Aumento o no cambio	<p>Evaluación: Este indicador se medirá con una periodicidad anual y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un descenso en la regeneración es un indicador ACC desfavorable.</p>
Propuestas de mejora:	

Con el apoyo de:



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



20 AÑOS



La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa

<p>Indicador:</p> <p>Resiliencia y Resistencia</p>	<p>Descripción: La resiliencia y resistencia en juveniles son indicadores de vulnerabilidad ante eventos de sequía intensos. La resiliencia nos indica la capacidad de los juveniles de recuperar los crecimientos anteriores al evento de sequía una vez pasado el mismo, mientras que la resistencia nos informa de la capacidad de los mismos para mantener su crecimiento en respuesta ante dicho evento.</p>
<p>Unidad de medida:</p> <p>Adimensional</p>	<p>Metodología: La obtención de datos será a través de Métodos de campo (MC)</p> <p>Se seleccionarán de forma aleatoria unos 30 juveniles por especie, separados entre sí por al menos 30 m. Se considerarán individuos juveniles aquellos que no sean sexualmente maduros y que tengan al menos 0.5-1 m de altura (dependiendo de la especie). Se evitarán aquellos individuos que presenten cualquier tipo de daño.</p> <p>Para cada individuo se medirán las elongaciones anuales en el fuste principal midiendo la distancia entre los nudos de ramas o las cicatrices de las yemas que parten del fuste principal, comenzando por las más nuevas (superiores) y avanzando hacia las más antiguas (inferiores). Con estos datos se calcularán los indicadores de resiliencia (RESJ) y resistencia (RSTJ) a cada evento de sequía:</p>
<p>Nivel de aplicación:</p> <p>Bosque o rodal</p>	$RESJ = \frac{PostPb}{PrePb} \qquad RSTJ = \frac{Pb}{PrePb}$
<p>Periodicidad:</p> <p>Quinquenal</p>	<p>Donde <i>PrePb</i> hace referencia al valor medio de crecimiento en los dos años previos a la sequía, <i>PostPb</i> al valor medio de crecimiento en los dos años posteriores a la sequía y <i>Pb</i> al valor de crecimiento durante el año de la sequía.</p>
<p>Tendencia deseada:</p> <p>Aumento o no cambio</p>	<p>Evaluación: Se medirá con una periodicidad quinquenal y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo calculando tantos índices de resiliencia y resistencia como eventos de sequía hubiera en la serie de años evaluada. Consideramos que un descenso en la resiliencia o resistencia en juveniles de un evento de sequía a otro es un indicador ACC desfavorable</p>
<p>Propuestas de mejora:</p>	

Con el apoyo de:



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



20 AÑOS



La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa	
Indicador: Crecimiento	<p>Descripción: El crecimiento del individuo constituye información básica acerca de la vitalidad del individuo y es indicador de la dinámica del bosque y el mantenimiento a largo plazo de los ecosistemas forestales. El crecimiento es un parámetro demográfico que puede verse afectado por las condiciones climáticas al igual que por otros factores, como enfermedades o plagas, por lo que lo consideramos como un indicador de impacto.</p>
Unidad de medida: Cm ha ⁻¹ o cm ³ ha ⁻¹	<p>Metodología: La obtención de datos será a través de Métodos de campo (MC)</p> <p>Se establecerán aleatoriamente 10 parcelas circulares de 5 metros de diámetro. En cada parcela se medirá el diámetro a la altura del pecho (d.a.p.) de todos los individuos adultos (d.a.p. > 75 mm y altura > 130 cm) de la especie/s a valorar.</p> <p>El indicador de crecimiento (CRE) será expresado como el crecimiento medio de cada especie en cada una de las parcelas y se hará la media de todas las parcelas</p>
Nivel de aplicación: Bosque o rodal	$CRE = \frac{\sum(d_1 + d_2 + \dots + d_n)}{n}$
Periodicidad: Quinquenal	<p>Donde d_x es el crecimiento (d.a.p.) medio para cada especie y parcela, y n es el número total de parcelas. El resultado se hará relativo a la hectárea, por lo que se expresará en cm/hectárea.</p> <p>El crecimiento de cada especie también puede ser medido mediante el uso de datos procedentes de Ordenaciones de montes (OM) o dendrocronología. En datos de OM se utilizarán los datos de existencias y cortas a lo largo de las sucesivas revisiones.</p>
Tendencia deseada: Aumento o no cambio	<p>Evaluación: Se medirá con una periodicidad quinquenal y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un descenso en el crecimiento es un indicador ACC desfavorable</p>
Propuestas de mejora:	

Con el apoyo de:



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



20 AÑOS



La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa

<p>Indicador:</p> <p>Reproducción</p>	<p>Descripción: La reproducción constituye una condición fundamental para el mantenimiento a largo plazo de los ecosistemas forestales y es un indicador de la vitalidad de la masa. Los cambios en el clima, como el aumento de las temperaturas y el incremento de las sequías, pueden provocar cambios fenológicos o una falta de vigor en los individuos adultos para producir semillas, teniendo serios impactos en la reproducción de los individuos. Por ello consideramos la reproducción como un <i>indicador de impacto</i>.</p>
<p>Unidad de medida:</p> <p>Número de frutos/ hectárea</p>	<p>Metodología: La obtención de datos será a través de Métodos de campo (MC)</p> <p>Se establecerán aleatoriamente 10 parcelas circulares de 5 metros de diámetro. En cada parcela se contará el número de frutos de cinco individuos adultos (d.a.p. > 75 mm y altura > 130 cm) de la especie/s a valorar. Para contar los frutos (e.g. conos en el caso de pinos), se deberá proveer la media de tres rondas de conteo. En cada una de las rondas el conteo consistirá en contar el número de frutos durante 30 segundos.</p>
<p>Nivel de aplicación:</p> <p>Bosque o rodal</p>	<p>El indicador de reproducción (REP) será expresado como el número de frutos medio por individuo para cada una de las especies en cada uno de los transectos y se hará la media de todos los transectos:</p>
<p>Periodicidad:</p> <p>Quinquenal</p>	$REP = \frac{\sum(f_1 + f_2 + \dots + f_n)}{n}$
<p>Tendencia deseada:</p> <p>Aumento o no cambio</p>	<p>Donde f_x es el número de frutos medio por individuo y especie en cada uno de los transectos, y n es el número total de transectos. El resultado se hará relativo a la</p> <p>Evaluación: Se medirá con una periodicidad quinquenal y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un descenso en el crecimiento es un indicador ACC desfavorable.</p>
<p>Propuestas de mejora:</p>	

Con el apoyo de:



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



20 AÑOS



La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa

<p>Indicador:</p> <p>Mortalidad</p>	<p>Descripción: La mortalidad es un aspecto demográfico clave que se calcula como una tasa de individuos que mueren por unidad de espacio y tiempo, relativo al número de individuos de esa comunidad o población objeto de estudio. La mortalidad es un parámetro demográfico que, al igual que la regeneración o la productividad, puede verse influido, directa o indirectamente, por cambios del clima y del entorno biótico.</p>
<p>Unidad de medida:</p> <p>Nº individuos muertos/hectárea</p>	<p>Metodología: La obtención de datos será a través de Métodos de campo (MC)</p> <p>Se establecerán 10 transectos, cada uno de 20 metros de largo. En el transecto se anotará el número y especie de individuos muertos, así como el número total de individuos.</p> <p>Los individuos objeto de evaluación serán individuos adultos los cuales se definen en función del diámetro a la altura del pecho (d.a.p.) > 75 mm y la altura > 130 cm.</p>
<p>Nivel de aplicación:</p> <p>Bosque o rodal</p>	<p>El indicador de mortalidad (Mort) será expresado como el número de individuos muertos con respecto al área de muestreo expresada en hectáreas, en un lapso de tiempo determinado (2 años) entre muestreos consecutivos:</p>
<p>Periodicidad: 2-5 años</p>	<p style="text-align: center;"> $Mort = \frac{\sum \left(\frac{m_1}{S_{m1}} + \frac{m_2}{S_{m2}} + \dots + \frac{m_n}{S_{mn}} \right)}{n} \times t^{-1}$ </p> <p>Donde m_x es el número de individuos muertos para cada transecto, S_{rx} es el área de cada transecto expresada en hectáreas, n es el número total de transectos y t es el tiempo transcurrido entre muestreos consecutivos.</p>
<p>Tendencia deseada:</p> <p>No cambio</p>	<p>Evaluación: Este indicador se medirá con una periodicidad de 2 a 5 años y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un aumento en la mortalidad es un indicador ACC desfavorable.</p>
<p>Propuestas de mejora:</p>	

Con el apoyo de:



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



20 AÑOS

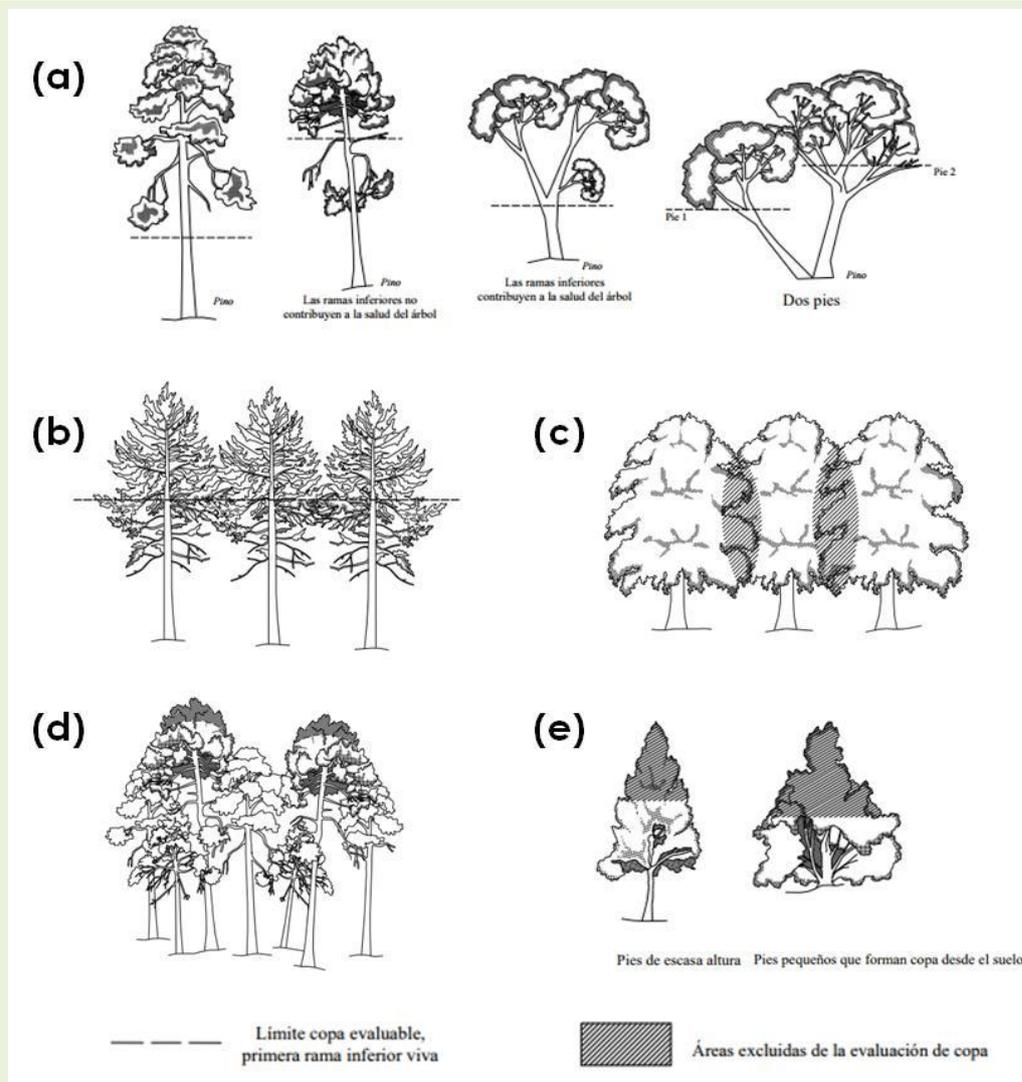


La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa	
<p>Indicador:</p> <p>Decaimiento</p>	<p>Descripción: El decaimiento forestal se define como el deterioro del arbolado que se manifiesta, entre otros, a través de la senescencia del follaje o defoliación y/o cambios en la coloración de las hojas. El decaimiento forestal está directamente relacionado con factores climáticos, contaminación, así como plagas y enfermedades. En concreto, los efectos derivados del cambio climático (i.e. sequía extrema) pueden provocar defoliaciones severas en árboles. Por ello, el decaimiento, y en especial la defoliación y decoloración de la copa arbórea es considerada un buen indicador de la salud y vitalidad de los árboles, y considerado como un indicador de alerta temprana.</p>
<p>Unidad de medida:</p> <p>Nº individuos muertos/hectárea a</p>	<p>Metodología: La obtención de datos será a través de Métodos de campo (MC).</p> <p>Se realizarán transectos lineales por cada 10 hectáreas tanto en masas naturales o semi-naturales, como artificiales ordenadas, estableciéndose aleatoriamente 10 parcelas circulares con un radio variable, siendo el muestreo replicado en cada sección. En cada parcela se estimará la defoliación en los 10 árboles adultos (d.a.p. > 75 mm y/o altura > 130 cm) más cercanos de la especie/s a valorar (considerando solo árboles dominantes) o 5 árboles por categoría (en caso de considerar más categorías de copa, ver figura).</p>
<p>Nivel de aplicación:</p> <p>Bosque o rodal</p>	<p>Para establecer el grado de defoliación (DECdef) se hará uso de los criterios:</p> <p>(i) La copa individual de cada árbol debe ser considerada tal y como está en el momento de su evaluación, sin tener en cuenta la copa potencial o teórica que pudo haber existido en años pasados.</p> <p>(ii) Se fijará un árbol de referencia dentro del rodal considerado como el óptimo para las condiciones de estación, edad y estatus de la copa (dominante, codominante o suprimido). Este árbol será considerado como la referencia de 0 % de defoliación de su copa para la especie y rodal.</p> <p>(iii) La copa evaluable está formada por el conjunto de ramas vivas y por aquellas cuya muerte ha sido reciente, presentando todavía ramillos portadores de hoja. En función de las características de la masa y arbolado se define la copa evaluable:</p>
<p>Periodicidad: 2-5 años</p>	
<p>Tendencia deseada:</p> <p>No cambio</p>	
<p>a. Copas individualizadas: Se considera copa evaluable desde la primera rama inferior viva. No se consideran las ramas que puedan haber muerto por poda natural. (Fig. a).</p> <p>b. Copas con tangencia: Se considera copa evaluable desde la tercera rama inferior viva. (Fig. b).</p> <p>c. Copas trabadas: La copa evaluable no incluye las zonas entrelazadas con copas de otros árboles. (Fig. c).</p> <p>d. Masas en densidad excesiva: la copa evaluable comprende únicamente el tercio superior de la copa. (Fig. d).</p> <p>e. Arbolado joven: la copa evaluable se define como la mitad superior de la copa de aquellos árboles de escasa altura o pies pequeños que forman copa desde el suelo. (Fig. e).</p>	

Con el apoyo de:



La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa



El grado de defoliación podrá ser estimado visualmente o bien haciendo uso de foto hemisférica, en cuyo caso se hará uso de la aplicación gratuita para Smartphone GLAMA (Gap Light Analysis Mobile Application software) (Tichý 2016). En ambos casos, bien mediante inspección visual o mediante foto hemisférica, la valoración se realizará siempre desde el mismo punto de la parcela (i.e. zona central) y en el caso de uso de foto, colocando la cámara en una dirección e inclinación determinadas. El valor de defoliación obtenido mediante foto será a través del índice de cobertura de copa “CaCo index”, el cual podremos interpretarlo como una medida indirecta de defoliación, donde una reducción en este índice indicará un aumento en la defoliación. El indicador de decaimiento (DECdef) (Tabla 5) será expresado como el grado de defoliación (o decoloración DECcol) de cada individuo en cada una de las parcelas de cada transecto y se hará la media de todos los transectos:

$$DECdef = \frac{\sum(de_1 + de_2 + \dots + de_n)}{n}$$

Con el apoyo de:



La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa

Donde de_x es el grado de defoliación para cada especie (Tabla 2) y transecto, y n es el número total de transectos. Nótese que, en el caso de uso de foto hemisférica, en lugar del grado de defoliación de la tabla 3 se usará el valor del “CaCo index”.

Para medir el decaimiento también se podrá hacer uso de datos procedente de **OM**, los cuales recogen información de defoliación (DECdef) y/o coloración (DECcol) para un período de tiempo concreto. Igualmente, en algunos casos pueden contener información relativa a la afección de plagas (i.e. procesionaria) (DECpla), medida como el número de bolsones o número de individuos afectados.

Evaluación: Este indicador se medirá con una periodicidad anual en época estival (agosto-septiembre) y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que un aumento en la defoliación es un indicador ACC desfavorable.

Propuestas de mejora:

Con el apoyo de:



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



20 AÑOS



La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa

<p>Indicador: Heterogeneidad de clases diamétricas</p>	<p>Descripción: La estructura de edades o clases diamétricas de las masas forestales es un parámetro estructural y proporciona información fundamental sobre el estado de madurez del bosque y las dinámicas de su desarrollo futuro. Consideramos la diversidad en la estructura de edades o clases diamétricas como un indicador de adaptación, donde una mayor heterogeneidad en la estructura de clases diamétricas sugerirá una mayor posibilidad de ACC.</p>
<p>Unidad de medida: Adimensional</p>	<p>Metodología: La obtención de datos será a través de Métodos de campo (MC)</p> <p>Se establecerán 10 parcelas circulares de 5 metros de diámetro. En cada parcela se medirá el d.a.p. de cada uno de los individuos, tanto adultos (d.a.p. > 75 mm y altura > 130 cm) como jóvenes (d.a.p. < 75 mm y altura < 130 cm). Estos datos también podrán ser obtenidos de los datos de ordenaciones forestales (OM).</p>
<p>Nivel de aplicación: Monte</p>	<p>El indicador de heterogeneidad de clases diamétricas (HET) será expresado calculando el coeficiente de variación en el diámetro. Para ello se dividirá la desviación estándar del diámetro entre el diámetro medio de los individuos para cada parcela.</p>
<p>Periodicidad: Anual</p>	
<p>Tendencia deseada: Aumento o no cambio</p>	<p>Evaluación: Este indicador se medirá con una periodicidad anual y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que una mayor diversidad en la estructura de clases diamétricas será un indicador ACC favorable.</p>
<p>Propuestas de mejora:</p>	

Con el apoyo de:



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



20 AÑOS



La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa

<p>Indicador: Diversidad de aves forestales</p>	<p>Descripción: Las aves son consideradas como buenos indicadores para evaluar el efecto de las perturbaciones y los cambios en hábitats y paisajes. Las aves forestales están generalmente muy diversificadas y responden de manera fina a los cambios estructurales, habiendo especies más generalistas (e.g. capaz de desarrollarse en una amplia gama de condiciones ambientales), mientras que otras son más especialistas (e.g. requieren unas condiciones ambientales específicas). Consideramos que la diversidad de especies de aves forestales, y en especial de aquellas que son más exigentes con las condiciones ambientales, es un indicador de impacto y adaptación.</p>																																			
<p>Unidad de medida: Adimensional</p>	<p>Metodología: La obtención de datos será a través de Métodos de campo (MC)</p> <p>Se establecerán 10 aleatoriamente 10 transectos de 20 metros de largo. En cada transecto se anotará la presencia de aves pertenecientes a los grupos descritos en la siguiente tabla.</p>																																			
<p>Nivel de aplicación: Monte</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="414 981 718 996">Nombre común</th> <th data-bbox="718 981 1021 996">Nombre científico</th> <th data-bbox="1021 981 1471 996">Hábitat</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="414 996 718 1019">Carbonero común</td> <td data-bbox="718 996 1021 1019"><i>Parus major</i></td> <td data-bbox="1021 996 1471 1019">Cualquier pinar</td> </tr> <tr> <td data-bbox="414 1019 718 1041">Carbonero garrapinos</td> <td data-bbox="718 1019 1021 1041"><i>Parus ater</i></td> <td data-bbox="1021 1019 1471 1041">Cualquier pinar</td> </tr> <tr> <td data-bbox="414 1041 718 1064">Herrerillo capuchino</td> <td data-bbox="718 1041 1021 1064"><i>Parus cristatus</i></td> <td data-bbox="1021 1041 1471 1064">Cualquier pinar</td> </tr> <tr> <td data-bbox="414 1064 718 1086">Reyezuelo listado</td> <td data-bbox="718 1064 1021 1086"><i>Regulus ignicapilla</i></td> <td data-bbox="1021 1064 1471 1086">Cualquier pinar</td> </tr> <tr> <td data-bbox="414 1086 718 1108">Piquituerto</td> <td data-bbox="718 1086 1021 1108"><i>Loxia curvirostra</i></td> <td data-bbox="1021 1086 1471 1108">Cualquier pinar</td> </tr> <tr> <td data-bbox="414 1108 718 1131">Pito real</td> <td data-bbox="718 1108 1021 1131"><i>Picus viridis</i></td> <td data-bbox="1021 1108 1471 1131">Cualquier pinar</td> </tr> <tr> <td data-bbox="414 1131 718 1153">Trepador azul</td> <td data-bbox="718 1131 1021 1153"><i>Sitta europea</i></td> <td data-bbox="1021 1131 1471 1153">Pinares más húmedos y antiguos</td> </tr> <tr> <td data-bbox="414 1153 718 1176">Pico picapinos</td> <td data-bbox="718 1153 1021 1176"><i>Dendrocopos major</i></td> <td data-bbox="1021 1153 1471 1176">Pinares más húmedos y antiguos</td> </tr> <tr> <td data-bbox="414 1176 718 1198">Agateador común</td> <td data-bbox="718 1176 1021 1198"><i>Certhia brachydactyla</i></td> <td data-bbox="1021 1176 1471 1198">Pinares más húmedos y antiguos</td> </tr> <tr> <td data-bbox="414 1198 718 1220">Cárabo común</td> <td data-bbox="718 1198 1021 1220"><i>Strix aluco</i></td> <td data-bbox="1021 1198 1471 1220">Pinares más húmedos y antiguos</td> </tr> </tbody> </table>			Nombre común	Nombre científico	Hábitat	Carbonero común	<i>Parus major</i>	Cualquier pinar	Carbonero garrapinos	<i>Parus ater</i>	Cualquier pinar	Herrerillo capuchino	<i>Parus cristatus</i>	Cualquier pinar	Reyezuelo listado	<i>Regulus ignicapilla</i>	Cualquier pinar	Piquituerto	<i>Loxia curvirostra</i>	Cualquier pinar	Pito real	<i>Picus viridis</i>	Cualquier pinar	Trepador azul	<i>Sitta europea</i>	Pinares más húmedos y antiguos	Pico picapinos	<i>Dendrocopos major</i>	Pinares más húmedos y antiguos	Agateador común	<i>Certhia brachydactyla</i>	Pinares más húmedos y antiguos	Cárabo común	<i>Strix aluco</i>	Pinares más húmedos y antiguos
Nombre común	Nombre científico	Hábitat																																		
Carbonero común	<i>Parus major</i>	Cualquier pinar																																		
Carbonero garrapinos	<i>Parus ater</i>	Cualquier pinar																																		
Herrerillo capuchino	<i>Parus cristatus</i>	Cualquier pinar																																		
Reyezuelo listado	<i>Regulus ignicapilla</i>	Cualquier pinar																																		
Piquituerto	<i>Loxia curvirostra</i>	Cualquier pinar																																		
Pito real	<i>Picus viridis</i>	Cualquier pinar																																		
Trepador azul	<i>Sitta europea</i>	Pinares más húmedos y antiguos																																		
Pico picapinos	<i>Dendrocopos major</i>	Pinares más húmedos y antiguos																																		
Agateador común	<i>Certhia brachydactyla</i>	Pinares más húmedos y antiguos																																		
Cárabo común	<i>Strix aluco</i>	Pinares más húmedos y antiguos																																		
<p>Periodicidad: Anual</p>	<p>El indicador de diversidad de aves forestales será calculado como el número de especies descritas en la tabla, presentes en el monte.</p>																																			
<p>Tendencia deseada: Aumento o no cambio</p>	<p>Evaluación: Este indicador se medirá con una periodicidad anual y se analizará su tendencia a lo largo del tiempo. Consideramos que una mayor diversidad de aves forestales será un indicador ACC favorable.</p>																																			
<p>Propuestas de mejora:</p>																																				



La certificación forestal FSC como instrumento de gestión forestal adaptativa

<p>Indicador:</p> <p>Bosque mixto</p>	<p>Descripción: Un bosque mixto es una “unidad forestal” donde al menos dos especies de árbol coexisten en cualquier fase de desarrollo, compartiendo el uso del agua, nutrientes y luz. Un bosque mixto puede definirse (y cuantificarse) a nivel de la composición de especies, distribución y variedad de clases de tamaño, así como de la variedad de formas morfológicas y fisiológicas características de cada especie para usar los recursos o hacer frente a perturbaciones (i.e. grupos funcionales). Los bosques mixtos al ser, en un sentido amplio, más complejos que los bosques monoespecíficos, contienen un gran potencial para ser fuente importante de servicios ecosistémicos. Por ejemplo, estudios científicos muestran una mayor estabilidad frente a perturbaciones o mayor productividad y diversidad de fauna i flora en bosques mixtos en comparación a bosques monoespecíficos. Sin embargo, estos beneficios dependen de la combinación de especies, así como de las condiciones ambientales y de perturbación. Es por ello que, dado un determinado contexto ecológico, bosque mixto y la configuración de sus componentes se considera como un indicador de adaptación.</p>
<p>Unidad de medida:</p> <p>(i) composición de especies (ii) distribución y diversidad de tamaños (iii) composición funcional</p>	<p>Metodología: La obtención de datos será a través de Métodos de campo (MC).</p> <p>Se establecerán 10 transectos de 20 m de largo x ??? m de ancho. En el transecto se anotará el número y especie de individuos adultos (diámetro a la altura del pecho, d.a.p > 75 mm y altura > 130 cm). Para cada individuo adulto se medirán el diámetro a la altura del pecho y la altura. Adicionalmente se contarán dentro del transecto el número de individuos juveniles para cada especie (d.a.p < 75 mm y altura < 130 cm). Estos datos se utilizarán para obtener distintos componentes de los bosques mixtos:</p>
<p>Nivel de aplicación:</p> <p>Bosque o rodal</p>	<p>• Composición de especies del bosque</p> <p>(i) Riqueza de especies: número de especies en el rodal.</p> <p>(ii) Diversidad de especies: número de especies considerando la abundancia relativa (p.ej. ocupación en densidad o área bisimétrica) de cada una en el rodal. Se utilizará el índice de Shannon-Weaver (H):</p>
<p>Periodicidad:</p> <p>(i) Fase inicial (ii) 5 años</p>	$H = - \sum_{i=1}^S p_i \times \ln(p_i)$ <p>Donde p_i es la abundancia de la especie i relativa al número total de especies S.</p>
<p>Tendencia deseada:</p> <p>(i) Mantenimiento o promoción en comunidades mixtas (ii) Transición de comunidades monoespecíficas a mixtas</p>	

Con el apoyo de:



- Distribución de tamaños y diversidad estructural. Las medidas de d.a.p y altura se utilizarán para calcular:
 - (i) Estadísticos descriptivos de centralidad (media y mediana), dispersión (mínimo, máximo, rango, desviación típica y coeficiente de variación) y distribución (curtosis y sesgo).
 - (ii) Índice de diversidad de tamaños a nivel de especie y de comunidad. Se utilizará el índice de Shannon-Weaver (H , ver diversidad de especies), donde p_i es la proporción de área bisimétrica de la clase diatérmica (o de altura) i y S el número total de clases diatérmicas (o de altura).
- Composición funcional. A nivel funcional podrán clasificarse las especies presentes de acuerdo a grupos o estrategias funcionales relevantes según el contexto ecológico. Por ejemplo, las especies de un rodal podrán clasificarse según si estas presentan rasgos o estrategias de resistencia o recuperación ante un fuego (p.ej. capacidad de rebrote, banco de semillas, corteza gruesa, elevada altura de copa) o ante un episodio de sequía (p.ej. esclerofilia, densidad de madera alta, área específica foliar reducida). Dada la gran variedad de rasgos y que su funcionalidad depende del contexto ecológico, los conocimientos previos del gestor forestal así como la consulta de datos a nivel de especie en TRY (<https://www.try-db.org>) serán clave para clasificar y evaluar si una combinación de especies resulta ventajosa para la funcionalidad y la adaptabilidad del bosque ante el cambio climático.

Evaluación: Este indicador se medirá en la fase inicial del proyecto (primer muestreo) para estimar el potencial de funcionalidad y adaptación de los bosques estudiados. Idealmente las mediciones se harán con una periodicidad a medio plazo (5 años) y se analizarán sus tendencias a lo largo del tiempo. Se considera indicador ACC favorable (i) valores altos de los distintos componentes que definen un bosque mixto o combinaciones de especies que aportan una mayor capacidad funcional y estabilidad ante perturbaciones, (ii) el mantenimiento o aumento a lo largo del tiempo del grado de diversidad, la transición de bosque monoespecífico a mixto y la promoción de combinaciones de especies favorables para la adaptación del bosque al cambio climático.

Propuestas de mejora: La gestión del bosque deberá ir dirigida a mantener y/o promocionar los bosques mixtos. Es recomendable que las estrategias de gestión (i) favorezcan el crecimiento i desarrollo tanto de la especie dominante como de las secundarias en masas mixtas, y (ii) promocionen las transiciones de masas monoespecíficas a mixtas. Un aspecto clave es que deberán considerarse tanto el contexto de condiciones ambientales y de perturbación, como las combinaciones de especies que proporcionen una mayor probabilidad de resiliencia (resistencia y recuperación) ante una perturbación y así mantener las funciones del ecosistema y la biodiversidad.



Con el apoyo de:



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



20 AÑOS



ANEXO 3

Cuadro 1. Glosario de términos usados en el presente trabajo adaptados del IPCC (IPCC 2014), Eurostat (Eurostat 2015) y otros autores (Mant 2001, Dawson et al. 2011, van Oijen et al. 2013, Herrero & Zavala, 2015, Zavala et al. 2017, Folke et al. 2004).

Conceptos relevantes para la adaptación al cambio climático

Peligro: acaecimiento potencial de un suceso o tendencia física relacionado con el clima que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales (e.g. incremento de las sequías) (IPCC 2014).

Vulnerabilidad: grado de susceptibilidad de un ecosistema a ser afectado negativamente por los efectos adversos del cambio climático (tanto la variabilidad climática media como los extremos climáticos, Dawson et al. 2011, IPCC 2014). En concreto, la vulnerabilidad depende de tres componentes: la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación (Dawson et al. 2011, Ruiz-Benito et al. 2013b).

Adaptación: proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas para la sociedad. En los sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos (IPCC 2014, Herrero & Zavala, 2015).

Impacto: efecto específico y cuantificable en los sistemas naturales y humanos atribuible, al menos en parte, a episodios meteorológicos y climáticos del cambio climático (Eurostat 2015, IPCC 2014). Por ejemplo, el aumento del nivel del mar sería considerado como un impacto del cambio climático, debido al derretimiento de los polos como consecuencia del aumento de las temperaturas.

Resistencia: fuerza ejercida por un sistema (e.g. ecosistema, población o individuo) en sentido opuesto al cambio provocado por una perturbación (MacGillivray et al. 1995)

Resiliencia: capacidad del sistema (e.g. ecosistema, población o individuo) para recuperar la estructura y función previas a una perturbación (Folke et al. 2004)

Mitigación: conjunto de intervenciones humanas con el propósito de atenuar las causas del cambio climático, principalmente las emisiones de gases de efecto invernadero o la reducción de las concentraciones de CO₂ de la atmósfera (i.e. incrementar la superficie forestal para aumentar la captura de carbono).

Con el apoyo de:



Cuadro 2. Glosario de términos usados en el presente trabajo adaptados del IPCC (IPCC 2007), Eurostat (Eurostat 2015) y otros autores (Mant 2001, Dawson et al. 2011, van Oijen et al. 2013, Herrero & Zavala, 2015, Zavala et al. 2017, MacGillivray et al. 1995, Folke et al. 2004).

Componentes de la vulnerabilidad

Exposición: severidad del cambio climático que es probable que experimente un rodal o ecosistema en un determinado lugar, y depende del grado y la magnitud del cambio en el clima (Dawson et al. 2011).

Sensibilidad: grado al cual a un sistema le afectan, de manera adversa o beneficiosa, los estímulos relacionados con el clima. Estos efectos pueden estar relacionados con el crecimiento, la reproducción, el reclutamiento o la supervivencia de un rodal o ecosistema (Dawson et al. 2011).

Capacidad de adaptación: capacidad de ajuste de los sistemas naturales o humanos como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que puedan moderar el daño o aprovechar sus efectos beneficiosos (Dawson et al. 2011). Este término hace referencia a la adaptación biológica, regulado por cambios genéticos en el individuo o población y motivado por procesos de selección natural.

Cuadro 3. Glosario de términos usados en el presente trabajo dentro adaptados del IPCC (IPCC 2007), Eurostat (Eurostat 2015) y otros autores (Mant 2001, Dawson et al. 2011, van Oijen et al. 2013, Herrero & Zavala, 2015, Zavala et al. 2017, MacGillivray et al. 1995, Folke et al. 2004).

Instrumentos relevantes para la adaptación al cambio climático

Gestión adaptativa: es el proceso iterativo de planificación, implementación y modificación de las estrategias de gestión en un contexto de incertidumbre y cambio constante (Herrero & Zavala, 2015).

Medidas de adaptación: ajustes en las prácticas, procesos y estructuras del bosque para reducir la generación de impactos y la vulnerabilidad, o bien las propuestas para aumentar la resiliencia de los sistemas y sectores, de un territorio concreto, en un determinado espacio temporal.

Sistema de indicadores: conjunto de parámetros, que proporciona información para describir el estado de un fenómeno, con un significado más amplio que el estrictamente asociado al parámetro (OCDE).

Indicadores de alerta temprana: son aquellos indicadores que proporcionan información clave para pronosticar potenciales impactos de cambio climático en el sistema, en un estadio temprano de los mismos. Es uno de los principales elementos de la reducción del riesgo ante el cambio climático.

Con el apoyo de:



20
AÑOS





Cuadro 4. Glosario de términos usados en el presente trabajo dentro de un contexto de cambio climático adaptados del IPCC (IPCC 2007), Eurostat (Eurostat 2015) y otros autores (Mant 2001, Dawson et al. 2011, van Oijen et al. 2013, Herrero & Zavala, 2015, Zavala et al. 2017, MacGillivray et al. 1995, Folke et al. 2004).

Tipos de indicadores

- **Según el grado de complejidad, disponibilidad y accesibilidad a datos**

Indicadores Troncales

Son indicadores rigurosos porque miden atributos recomendados por la bibliografía especializada y expertos, y por tanto son capaces de medir los impactos, peligros, vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático de una manera directa (EEA 2014, Zavala et al. 2017). Se trata de indicadores robustos, fáciles de obtener, que permiten su medición periódica.

Indicadores Complementarios

Son igual de robustos que los indicadores troncales, pero miden los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático indirectamente (e.g. económicos, demográficos, etc.). Por otro lado, de forma ideal los indicadores complementarios deben formar parte del sistema y ser considerados para la evaluación de los indicadores troncales, ya que aportan una importante información contextual para la adaptación (EEA 2014, Zavala et al. 2017). Los indicadores complementarios pueden contar con datos actualmente disponibles para su cálculo en los ecosistemas forestales (i.e. datos de ordenaciones forestales o datos de inventario) o requerir de su medición en el campo, aunque son ligeramente más complejos de obtener que los troncales desde el punto de vista técnico, metodológico y/o económico.

Indicadores Candidatos

Son aquellos que no forman parte inicialmente de los indicadores troncales o complementarios del sistema, pero que pueden entrar a futuro a formar parte de éste (EEA 2014, Zavala et al. 2017). Generalmente son datos que no se encuentran disponibles y que su adquisición puede conllevar cierta complejidad técnica, metodológica y/o económica.

- **Según el proceso que evalúan**

Indicadores de Proceso

Los indicadores de proceso evalúan el sistema para identificar la puesta en marcha de medidas o acciones (e.g. evaluar la implementación de planes de gestión para el control de incendios en una masa forestal, o la construcción de cortafuegos, Mant 2001).

Indicadores de Resultado

Los indicadores de resultado evalúan explícitamente el producto o resultado centrado en la efectividad de medidas o decisiones tomadas a corto y largo plazo (e.g. evaluar la tendencia de pérdidas económicas y/o ecológicas en una masa forestal debidas a los incendios, Mant 2001).

Con el apoyo de:



20
AÑOS



“Las opiniones y documentación aportadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad del autor o autores de los mismos, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que apoyan económicamente el proyecto”

Con el apoyo de:



20
AÑOS

