

Con el apoyo de:



VICEPRESIDENCIA  
CUARTA DEL GOBIERNO  
MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



TÉCNICAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA GESTIÓN FORESTAL Y LA INDUSTRIA DE LA MADERA FSC®

# Análisis de impacto, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la industria de la madera.





La marca de la gestión  
forestal responsable

FSC® F000228

Informe realizado a través del proyecto **“Técnicas de adaptación al cambio climático en la gestión forestal y la industria de la madera FSC”**, con el apoyo de la **Fundación Biodiversidad**, del **Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico**. Este estudio está desarrollado por la **Universidad de Vigo** y coordinado por **FSC España**.

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.

Autor:

Juan Picos.

Escuela de Ingeniería Forestal.

Campus de Pontevedra.

Universidad de Vigo.

Como citar:

Picos, J. (2020) *Análisis de Impacto, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la industria de la madera*. En *Técnicas de adaptación al cambio climático en la gestión forestal y la industria de la madera* FSC, coord. FSC España. 165 p.

## Contenido

Objetivos y Metodología .....	4
Introducción .....	5
Impacto del cambio climático en la industria de la madera .....	6
Introducción .....	6
Los escenarios para la evaluación futura .....	18
The Representative Concentration Pathways - RCPs .....	19
The Shared Socioeconomic Pathways - SSPs.....	21
The Forest Sector Pathways – FSPs.....	29
Cambios en la demanda de madera.....	38
Cambios en Producción de madera. ....	45
Impactos en el mercado por cambios en la producción primaria neta .....	54
El efecto del aumento de las perturbaciones naturales en los mercados .....	58
Impactos del cambio climático en la calidad de la madera .....	65
Impactos del cambio climático en las condiciones de los aprovechamientos.....	67
Impactos del cambio climático sobre el capital humano.....	70
Impacto del cambio climático en las instalaciones y equipamientos. ....	75
Impacto del cambio climático en la cadena de suministro .....	79
El efecto de la pandemia del covid19 .....	86
Adaptación al cambio climático de la industria de la madera. ....	91
Introducción .....	91
Mejora de la adaptación forestal a través de extensión e incentivos económicos .....	93
Desarrollo equilibrado del potencial de secuestro de carbono en masas forestales, y productos de madera. ....	99
Desarrollo de cadenas de valor innovadoras basadas en madera:.....	103
Madera en Construcción .....	105
Textiles basados en madera .....	107
Productos químicos basados en madera. ....	108
Adaptación de la cadena de suministro al cambio climático .....	109
Impulso al papel de la Certificación Forestal .....	111
Referencias Bibliográficas .....	113
Índice de figuras .....	142
Índice de tablas .....	143

## Objetivos y Metodología

Este informe ha sido realizado a través del proyecto ***“Técnicas de adaptación al cambio climático en la gestión forestal y la industria de la madera FSC”***, con el apoyo de la **Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico**.

El trabajo ha sido desarrollado en la Escuela de Ingeniería Forestal de la Universidad de Vigo y ha sido coordinado por FSC España.

El proyecto pretende ahondar más en el conocimiento de los efectos del cambio climático en la industria de la madera.

El trabajo se ha llevado a cabo a partir de una amplia revisión documental y bibliográfica. Las más de 500 referencias consultadas suponen una extensa muestra del estado del conocimiento en el tema.

El informe se ha organizado en tres partes principales: una primera que establece los aspectos generales y aborda los escenarios sobre los que discurrirán los análisis posteriores, una segunda principalmente dedicada a indicar los impactos y la vulnerabilidad del sector de la industria de la madera al cambio climático y por último una tercera que aborda varias sugerencias de adaptación.

## Introducción

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) ha concluido que el clima está cambiando y que existe un 90% de certeza de que los humanos son la causa. Este cambio está afectando a los sistemas naturales y humanos a nivel mundial. A medida que aumentan los extremos climáticos y los patrones cambiantes de temperatura y precipitación se están alterando la distribución de especies de plantas y animales.

En particular, las masas forestales se ven afectados por el cambio climático debido, entre otras causas, a los daños por insectos y patógenos, los fenómenos meteorológicos extremos, los incendios forestales y la composición cambiante en especies, densidad y estructura (Kirilenko et al, 2007). Todas estas amenazas no solo se restringen a los ecosistemas forestales, sino que se extienden a las personas y los sectores económicos que dependen de ellos (Bernier et al. 2009).

Sobre las industrias de la madera, según Sussman et al. (2008), existen tres tipos de riesgos de cambio climático que pueden afectar a las empresas: riesgos para las operaciones, riesgos para la cadena de valor y, finalmente, riesgos que surgen de cambios más amplios en la economía y la infraestructura.

Existe un alto grado de incertidumbre y complejidad involucrada en analizar los impactos aisladamente en un sistema complejo formado por ecosistemas y tecnosistema. Además, es difícil ir incorporando progresivamente los efectos de las adaptaciones en ambos sistemas (Spittlehouse, 2005). La planificación basada en la dinámica forestal pasada y los enfoques de gestión serán cada vez más inadecuados (Lempriere et al. 2020). Además, las decisiones de ordenación forestal a menudo tienen consecuencias a largo plazo que no se pueden revertir fácilmente. En segundo lugar, es posible que los objetivos actuales de gestión forestal sostenible no se puedan alcanzar en el futuro.

Determinar los objetivos apropiados en un clima cambiante requiere conocimiento, debate público y diálogo. Los cambios inducidos por el clima en el suministro de madera, crean el riesgo de una importante dislocación económica y social en las regiones con economías más dependientes de la silvicultura y la industria forestal. Es probable que la acción proactiva planificada para abordar las vulnerabilidades y hacer que la adaptación al cambio climático sea una consideración en toda la toma de decisiones (“transversalización”) sea el enfoque más rentable y exitoso. Al coordinar sus esfuerzos y aprender de las experiencias de los demás, las partes interesadas del sector forestal pueden ayudar a reducir el coste de la adaptación.

Es importante señalar que el cambio climático presenta no solo una **amenaza** para la industria forestal, sino también una **oportunidad**. Por ejemplo, en algunas zonas, el aumento del periodo vegetativo podría tener un impacto positivo en la industria forestal, y aumentos en la biomasa de especies arbóreas de valor comercial. No obstante, el aumento del estrés causado por los cambios relacionados con el clima puede afectar negativamente en muchos otros aspectos a la industria forestal como se detallará a lo largo de este informe.

Además, las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático pueden afectar aún más las operaciones comerciales de una manera bastante indirecta. Las empresas deben pensar en el cambio climático como un problema de mercado, ya que las regulaciones sobre el cambio climático afectan, entre otros, los precios y la disponibilidad de la energía, creando así un efecto dominó en toda su cadena de valor (Hoffman & Woody, 2008; Seppälä, et al. 2009, Kolk et al. 2005).

# Impacto del cambio climático en la industria de la madera

## Introducción

Pese a las incertidumbres asociadas con las proyecciones actuales de los modelos climáticos y de ecosistemas, se espera que los impactos asociados al cambio climático sean muy relevantes. Entre ellos, los cambios en la provisión de productos y servicios ecosistémicos de las masas forestales serán sustancialmente alterados en muchas partes del mundo. Estos efectos presentarán importantes desafíos para los sectores económicos asociados y la sociedad en su conjunto.

La mayoría de las evaluaciones hasta la fecha han asumido una trayectoria lineal de modelos, es decir, del escenario climático al escenario ecológico y al modelo económico. Se han establecido algunos vínculos entre los modelos de vegetación y los modelos de circulación general, pero hasta la fecha no se han abordado por completo las reacciones importantes entre la gestión, los impactos ecológicos y las interacciones del mercado. Es importante reconocer este punto porque la mayoría de los modelos ecológicos asumen que hay poca o ninguna interacción entre los seres humanos y los ecosistemas. Sin embargo, en realidad, muchos de los ecosistemas del mundo se ven afectados por la gestión humana y, de hecho, la mayoría de los bosques utilizados para la producción de madera se gestionan.

Los modelos ecológicos que no tienen en cuenta la gestión de la tierra por parte de los seres humanos probablemente sobrestiman los impactos del cambio climático en los ecosistemas porque no captan las respuestas humanas ni directamente a los fenómenos del cambio climático ni a los ajustes del mercado secundario provocados por el cambio climático (Sohngen et al. 1998).

Muchos otros factores, además del cambio climático, también afectarán los bosques y la gestión forestal en el futuro. Por supuesto, los modelos económicos podrían usarse para estudiar los efectos que tienen otros impactos exógenos en los mercados de madera, pero constituirían un estudio diferente al de los impactos del cambio climático. Los analistas suelen mantener constantes sus suposiciones sobre estos otros factores entre el escenario de referencia y su escenario de cambio climático. Algunos estudios realizan análisis de sensibilidad para considerar las implicaciones de cambios en uno u otro de los "otros" factores.

En la figura 1 se representa un diagrama adaptado de Bogdanski et al. (2011) de interacciones para el sector del aserrado. En el mismo se observa la enorme complejidad de factores que pueden influir en cada una de los elementos de esta cadena de valor.

Es importante considerar que este diagrama a su vez se encontraría "conectado" con diagramas equivalentes correspondientes a otras cadenas de valor, tanto de origen forestal como aquellas que generan productos competidores o complementarios en el mercado, y a multitud de cadenas de producción de materias primas, productos intermedios o finales, de otros países susceptibles de ser importados (figuras 2, 3, 4 y 5).

De este modo, cualquier factor que pueda afectar a alguno de los nodos, transmite su efecto, en mayor o menor medida, a lo largo y ancho del diagrama. No obstante, esta complejidad también resulta en un sector más resiliente por la capacidad de amortiguar determinados factores que incidan en alguno de sus nodos mediante la activación de flujos alternativos para una cierta compensación de sus efectos. Por ejemplo, un problema de descenso de aprovechamientos forestales locales puede ser compensada con importaciones de madera en rollo o producto aserrado para seguir cubriendo la demanda.

Figura 1 Diagrama de interacciones en el sector del aserrado

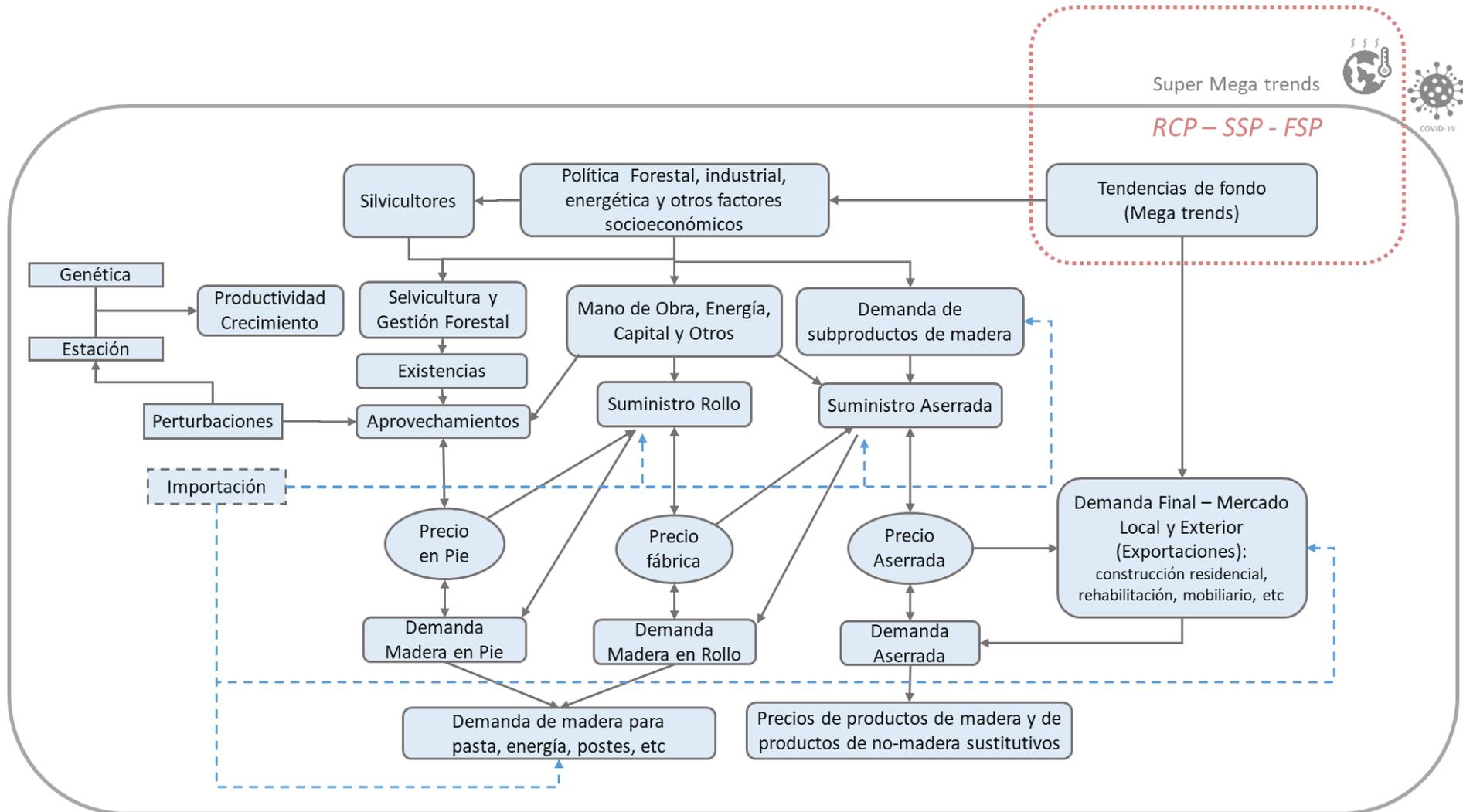


Figura 2 Comercio internacional de madera en rollo (coníferas y no coníferas) 2017

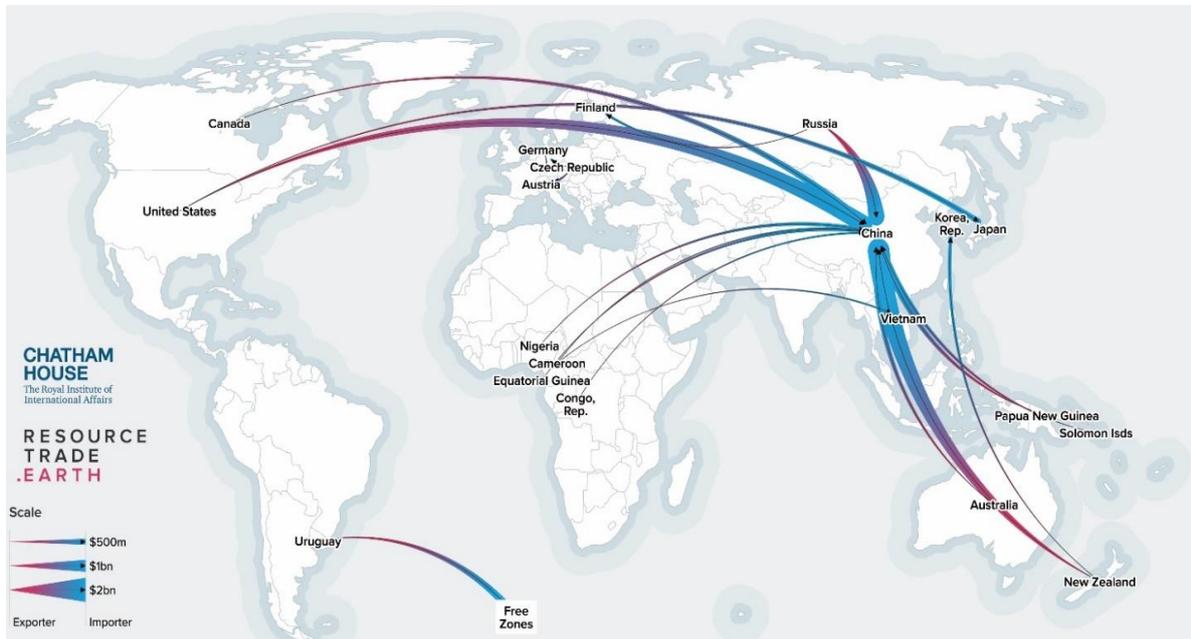


Figura 3 Comercio internacional de madera aserrada (coníferas y no coníferas) 2017

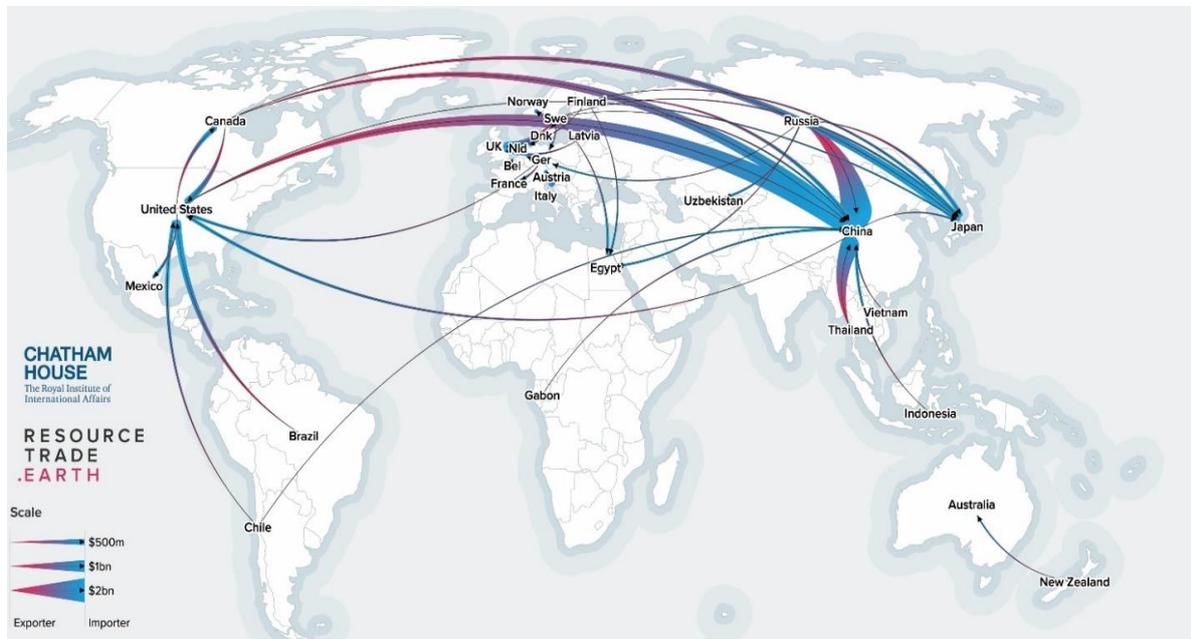


Figura 4 Comercio Intracomunitario UE 28 de madera en rollo de coníferas 2017

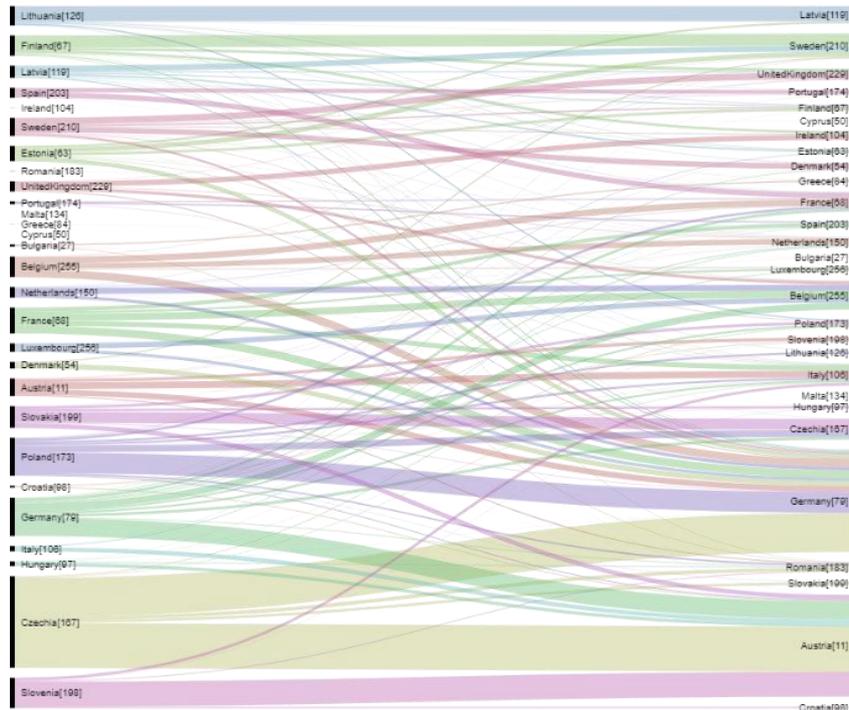
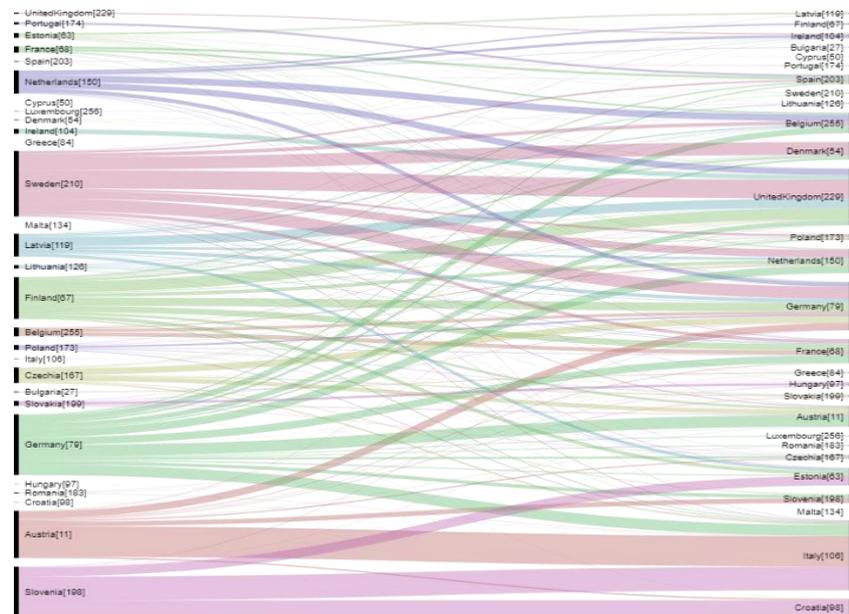


Figura 5 Comercio Intracomunitario UE 28 de madera aserrada de coníferas 2017



Las tendencias de fondo o megatendencias (megatrends) son tendencias globales a largo plazo que se configuran lentamente, pero que, una vez que comienzan a actuar, tienen un impacto importante y extenso, y una gran inercia. En el diagrama de la figura 1 las tendencias de fondo son aquellas grandes fuerzas que afectarán a todas las áreas geográficas en los próximos 10 a 15 años. Cada una de estas megatendencias ha evolucionado continuamente durante décadas, desarrollando su propia dinámica e influyendo en las dimensiones económicas, sociales y ambientales del desarrollo sostenible de la humanidad. Cada una de ellas influye más allá de fronteras y límites sociales, y persistirá en el tiempo, evolucionando a medida que interactúa con las otras tendencias, así como con otros cambios en la sociedad. Además de influir unas en otras, las megatendencias también pueden actuar en combinación, reforzando cada uno de sus impactos individuales.

United Nations (2020) ha indicado que las cinco principales mega tendencias actuales son el Avance Tecnológico, el Desarrollo Demográfico –con especial énfasis hacia el envejecimiento en algunas sociedades-, el aumento de la Desigualdad –tanto entre países como entre estratos sociales-, la Urbanización y el Cambio Climático.

No obstante, hacer frente al cambio climático requiere un esfuerzo global. Ningún país individual puede determinar el curso de esta megatendencia por sí solo. Las otras cuatro megatendencias, aunque necesiten coordinación global y esfuerzos conjuntos para ser compensadas, pueden ser influidas de alguna manera por las políticas nacionales o regionales. Por ese motivo en el esquema de la figura 1 se han incorporado, en un nivel superior a las tendencias de fondo (mega tendencias), el cambio climático (y la irrupción de la pandemia por COVID19). Estas denominadas super mega trends son capaces de alterar radicalmente incluso las tendencias de fondo y su influencia es global, afectando a todos los países de forma simultánea.

Algunas de las tendencias de fondo tienen asociado su propio Objetivo del Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible auspiciada por la Organización de las Naciones Unidas. La urbanización tiene asociado el ODS 11), la innovación tecnológica el ODS 9, la desigualdad el ODS 10 y el desarrollo demográfico aparece de forma destacada en las metas de varios ODS. Además, el Cambio Climático en sí mismo es objeto del ODS 13.

Cada megatendencia ejerce una influencia directa en el desarrollo sostenible, en general, pero también más específicamente en las otras megatendencias. El cambio climático puede reforzar la migración rural-urbana. La innovación tecnológica y la digitalización han acentuado claramente las desigualdades de ingresos. Sin embargo, las megatendencias no se influyen simplemente entre sí. También suelen actuar en combinación, reforzando sus impactos individuales. Por ejemplo, las desigualdades existentes en educación e ingresos pueden explicar parte de la brecha tecnológica entre los diferentes grupos de una sociedad y pueden intensificar las consecuencias adversas a medida que la innovación tecnológica continua profundiza las desigualdades existentes. En otros casos, una megatendencia puede ralentizar o contrarrestar el efecto de otra. El envejecimiento de la población puede generar preocupaciones sobre las limitaciones a la innovación, la productividad de la fuerza laboral y el dinamismo macroeconómico.

Todo esto significa que las políticas que dan forma a una determinada megatendencia y reducen o reorientan su propio impacto, también pueden influir o reforzar otras megatendencias, generando beneficios simultáneos.

En las tablas 1 y 2 se esquematizan, adaptado de United Nations (2020), las relaciones de las cuatro megatendencias con el cambio climático y viceversa.

Tabla 1 Impactos del cambio climático en las tendencias de fondo

United Nations, 2020		Impacto Positivo	Impacto Negativo
Avance Tecnológico	Tendencia Demográfica	Desigualdad	Urbanización
<p>1. El cambio climático ha acelerado e intensificado la innovación tecnológica y las políticas que permiten reducir los costes de producción, almacenamiento y uso de tecnologías de energía renovable, como solar y eólica.</p>	<p>1. Se esperan mayores flujos migratorios de las zonas rurales a las urbanas entre los grupos de población que se enfrentan a la creciente inseguridad de los medios de vida causada por el aumento del nivel del mar, fenómenos meteorológicos extremos, sequías, aumento de las temperaturas, plagas y escasez de agua. Como resultado, los conflictos pueden surgir o intensificarse en los lugares de destino, dentro o entre países.</p>	<p>1. El cambio climático tiene mayores impactos en los grupos de población menos resilientes, incluidos los pueblos indígenas y los pequeños propietarios de tierras, lo que agrava la inseguridad de ingresos y los riesgos de enfermedades infecciosas y respiratorias. Esto también agrava la división rural-urbana.</p>	<p>1. Al provocar sequías más prolongadas, intensas y frecuentes, lluvias intensas, condiciones climáticas erráticas, inundaciones e incendios forestales, el cambio climático se convierte en una de las principales causas de la inseguridad económica. Los mayores flujos de migración del campo a la ciudad y de la ciudad a la ciudad desafían las capacidades financieras de las ciudades de destino, a menudo también afectadas por eventos climáticos, para proporcionar empleo y servicios sociales. Estos efectos impulsan patrones insostenibles de urbanización.</p>
<p>2. El cambio climático causa daños importantes a las cadenas de suministro, los edificios y la infraestructura de las TIC, incluidas a las propias infraestructuras y tecnologías para la adaptación.</p>	<p>2. El cambio climático incrementa la vulnerabilidad de países con un crecimiento demográfico, una densidad de población, tasas de fertilidad relativamente altas y mayor dependencia de la agricultura de secano.</p>	<p>2. El cambio climático aumenta de manera desproporcionada el riesgo de los países en desarrollo que dependen de los productos básicos y la agricultura de secano al inutilizar sus activos y recursos (naturales y financieros), lo que provoca perturbaciones en los precios de los cultivos y condiciona las perspectivas de desarrollo. Existe una gran presión sobre la balanza fiscal de estos países, y el alivio de las crisis a menudo se financia mediante recortes en el gasto social y de infraestructura.</p>	<p>2. El cambio climático impulsa la mayor vulnerabilidad de los países de bajos ingresos en zonas urbanas y rurales. Intensifica la degradación de la tierra y la erosión costera, y afecta a infraestructuras y los medios de vida a través del aumento del nivel del mar; acidificación del océano; contaminación por plástico; olas de calor; tormentas e inundaciones, etc</p>
	<p>3. El posible aumento de la mortalidad se debe principalmente a las olas de calor, las epidemias, las plagas de insectos y el aumento de la escala, la frecuencia y la intensidad de las catástrofes naturales.</p>	<p>3. Se estima que la relación entre los ingresos del 10% más rico y el 10% más pobre de la población mundial es un 25% mayor de lo que sería sin de no existir calentamiento global. Incluso con poderosas estrategias de mitigación y adaptación, se considera que entre 3 millones y 16 millones de personas caerán en la pobreza para el 2030 debido al cambio climático; sin esas estrategias, las cifras serían de entre 35 y 122 millones.</p>	<p>3. El cambio climático afecta la capacidad institucional de las ciudades, y la prestación de servicios ecosistémicos. Estos efectos pueden aumentar el impacto de la explotación de recursos y la degradación ambiental a través de actividades humanas, como la eliminación de espacios naturales capaces de amortiguar los efectos de las tormentas, la contaminación, el uso excesivo de agua y el efecto de "isla de calor urbana".</p>
		<p>4. La contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero per cápita de los países en desarrollo es significativamente más baja que la de los principales emisores, lo que aumenta las desigualdades entre países.</p>	
		<p>5. El impacto del cambio climático en las personas y los medios de vida probablemente será mayor en los países menos desarrollados, mientras que los daños a la infraestructura serán mayores en los países más desarrollados.</p>	
		<p>6. El cambio climático podría reducir las oportunidades de subsistencia para las generaciones futuras en los países más afectados y aumentar la movilidad intergeneracional descendente.</p>	

Tabla 2 Impactos de cada una de las cuatro tendencias de fondo en el cambio climático

### Avance Tecnológico

1. El teletrabajo reduce las emisiones de efecto invernadero en las ciudades, lo que mejora la calidad del aire y la salud humana.
2. La industria y el comercio impulsados por la tecnología y basados en combustibles fósiles aceleran el desarrollo económico, el consumo de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero, los desechos electrónicos, el agotamiento de las aguas subterráneas, la erosión de la tierra, la degradación ambiental y el cambio climático. Esto ha generado patrones insostenibles de producción, comercio (p.ej., transporte marítimo, zoonosis) y consumo.
3. La tecnología de teledetección puede mejorar la eficiencia del uso del agua mediante una medición más precisa, ayudando a los gobiernos a fijar el precio del agua de manera más adecuada y desalentando el consumo derrochador. Tecnologías digitales puede mejorar las tasas de reciclaje de residuos al rastrear los productos de consumo a lo largo de su ciclo de vida, desde la producción hasta la eliminación, y potencialmente al recapturar materiales después del consumo para llevarlos de vuelta al ecosistema de producción.
4. Las verduras transportadas desde distancias lejanas pueden tener una menor huella de carbono que las de distancias más cortas debido al uso de buques portacontenedores y trenes que transportan más volumen que los camiones y consumen menos combustible por kilo de verduras.
5. El uso de tecnologías de energía renovable, respaldado por potentes tecnologías de baterías, puede reducir el rendimiento, mejorar la eficiencia en el uso de los recursos naturales (por ejemplo, tierra, agua, energía) y respaldar patrones de producción y consumo sostenibles, lo que reduciría emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático. En este sentido, las semillas resistentes a inundaciones y sequías y otras tecnologías agrícolas climáticamente inteligentes pueden reducir el impacto del cambio climático y mejorar la seguridad alimentaria, los medios de vida rurales y el medio ambiente.
6. La industrialización basada en tecnologías de energía renovable, como la energía solar y eólica, puede reducir en gran medida las emisiones de gases de efecto invernadero, mitigar el cambio climático y apoyar el desarrollo sostenible. Las tecnologías también podrían mejorar la gestión de residuos y apoyar la transición hacia una economía circular tanto en áreas rurales como urbanas.
7. Los monocultivos agrícolas y la agricultura comercial a gran escala, han afectado en gran medida la agricultura y los medios de vida a pequeña escala y han contribuido a la degradación ambiental (por ejemplo, deforestación, escasez de agua, erosión de la tierra) y pérdida de diversidad biológica.
8. Las tecnologías basadas en inteligencia artificial utilizan una gran cantidad de energía, lo que contribuye en gran medida a las emisiones de gases de efecto invernadero, el cambio climático y la degradación ambiental, y aumenta los riesgos para la salud.
9. Las tecnologías e infraestructura mineras (grandes represas) han afectado negativamente a las sociedades (por ejemplo, los medios de vida, la calidad del aire y del agua, los riesgos para la salud), los bosques, la diversidad biológica y los ecosistemas (incluidos los ríos y estanques).

### Tendencia Demográfica

1. Un crecimiento demográfico más lento puede ayudar a los países a ganar tiempo para invertir en el aumento de la resiliencia y la capacidad para adaptarse al cambio climático.
2. El envejecimiento contribuye moderadamente al aumento del consumo de energía y al calentamiento global, especialmente en países de ingresos altos.
3. El crecimiento de la población contribuye moderadamente al aumento del consumo de energía (especialmente en los países de ingresos bajos y medianos) y de las emisiones de gases de efecto invernadero.
4. En igualdad de condiciones, un tamaño medio de hogar más pequeño aumenta las emisiones de carbono.
5. El rápido crecimiento de la población (especialmente en África subsahariana y países de bajos ingresos) es un factor importante en el aumento de la demanda de alimentos y la producción agrícola, lo que ejerce presión sobre recursos escasos como la energía, el agua y la tierra.
6. Es probable que el crecimiento económico basado en la energía fósil aumente las emisiones de carbono en el mundo en desarrollo, mientras que el ascenso de la clase media sigue ejerciendo presión al alza sobre la demanda agregada y las emisiones de carbono, incluso con mejoras en la eficiencia energética.
7. La disminución de la fecundidad provoca un crecimiento demográfico más lento y un envejecimiento más rápido. A nivel mundial, el envejecimiento podría reducir las futuras emisiones de dióxido de carbono hasta en un 20% para 2050.

Tabla 2 (cont.) Impactos de cada una de las cuatro tendencias de fondo en el cambio climático

### Desigualdad

1. Una menor desigualdad ayuda a mitigar el cambio climático. Los países de ingresos altos con menor desigualdad consumen menos, producen menos residuos y emiten menos carbono que los países con mayor desigualdad, en parte debido a las políticas públicas y la acción del gobierno, por ejemplo, en transporte y consumo. Las políticas para frenar las desigualdades y el cambio climático deben abordarse conjuntamente .
2. La alta y creciente desigualdad puede obstaculizar la acción climática para mitigar o reducir la degradación ambiental debido a presiones económicas y políticas para mantener el *status quo*.
3. Las desigualdades entre países tropicales y templados acentúan efectos adversos del cambio climático en seguridad alimentaria y medios de vida.

### Urbanización

1. Construir ciudades sostenibles implica el uso de energías renovables, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y mitiga el cambio climático. En términos más generales, las ciudades se encuentran en una posición única para impulsar una transición de una economía lineal a una economía circular debido a su alta concentración de recursos, capital, datos y talento.
2. La urbanización ha trasladado actividades de producción realizadas en áreas rurales con poco empleo de energía a productores externos que consumen mucha energía, incrementando el consumo de energía de origen fósil debido a una mayor densidad de población, uso de electricidad, procesamiento de alimentos, transporte y servicios públicos. Esta tendencia supera la transición a la energía limpia; como resultado, las emisiones de gases de efecto invernadero, el calentamiento global y la contaminación del aire han aumentado.
3. La adaptación urbana puede reducir los impactos adversos del cambio climático y mejorar la resiliencia de las poblaciones vulnerables.
4. Mediante el desarrollo de edificios, carreteras y superficies urbanas, y mediante actividades que producen contaminantes, las ciudades han cambiado el comportamiento de la escorrentía superficial de las precipitaciones y degradado la calidad del agua en las aguas receptoras.
5. La urbanización ha producido impactos adversos en términos de usos del suelo (p.ej. incrementando estructuras artificiales).
6. La urbanización es el principal impulsor del desecho y el desperdicio de alimentos en las fases de producción, distribución, venta minorista y consumo (por ejemplo, desechos de construcción y demolición). Esto aumenta la degradación ambiental y los riesgos para la salud al liberar emisiones de gases de efecto invernadero en el ciclo de producción, aumentar los desechos y estimular el aumento de enfermedades zoonóticas.
7. Los cambios en el estilo de vida que acompañan a la urbanización incluyen cambios en la dieta, generalmente hacia productos que no son granos (por ejemplo, carne, verduras, pescado, leche), que intensifican el uso de recursos naturales y patrones insostenibles de producción y consumo de alimentos.
8. Las personas de altos ingresos que residen en las afueras de las ciudades (por ejemplo, la expansión urbana) tienden a producir mayores emisiones de gases de efecto invernadero per cápita (huella de carbono) debido a un mayor uso de transporte privado e infraestructura construida para hogares más pequeños y fincas típicamente distantes de cada una otra.
9. El aumento de la urbanización puede intensificar los episodios de lluvias extremas en las ciudades, en particular debido al efecto de las emisiones de aerosoles sobre las lluvias.

(United Nations, 2020)

Los factores sociales como la población, el nivel de riqueza y el comercio influirán en como serán los impactos causados por el cambio climático, y las medidas que se tomen para su mitigación y adaptación sobre el sector forestal (Kirilenko et al 2007). Existe bibliografía cada vez más abundante que busca comprender cómo las fuerzas del mercado y las políticas pueden ayudar a reforzar el papel que el sector forestal puede jugar en la mitigación y adaptación al cambio climático, incluso a escalas locales (Latta et al., 2018).

Las perspectivas globales indican que es muy probable que aumenten los niveles de ingresos per cápita (Dellink et al., 2016), al igual que la población hasta al menos 2050 (KC at al., 2017), lo que generará una mayor competencia por el uso de la tierra por parte de la agricultura (Bodirsky et al., 2015). El aumento de los niveles de ingresos y la demanda de productos forestales y otros servicios de los ecosistemas forestales pueden impulsar la inversión en recursos forestales, lo que resulta en un mayor secuestro de carbono en los ecosistemas terrestres (Tian et al., 2018).

Al mismo tiempo, niveles más altos de ingresos y población también podrían ejercer una presión adicional sobre los terrenos forestales para que sea más productiva y / o aprovechada más intensamente, lo que podría tener efecto en el almacenamiento total de carbono. Además, existe incertidumbre sobre cómo evolucionará la demanda de productos forestales en el futuro, lo que puede llevar a diferentes patrones de aprovechamiento y dinámicas de uso de la tierra a lo largo del tiempo (Popp et al., 2017).

Kirilenko et al (2007) recopilaron una decena de estudios prospectivos con algunos impactos el sector forestal a partir de simulaciones con distintos modelos. Un resumen de los mismos se recoge en la tabla 3.

Todas las estimaciones concuerdan en un aumento de los aprovechamientos globales de madera, aunque con magnitudes significativamente distintas y diferencias en el reparto geográfico. Respecto a los precios, la mayor parte de los estudios auguran una disminución de los precios al menos en las primeras décadas. Incluso alguno de los estudios (Lee et al, 2004) augura que el efecto del cambio climático será una disminución de precios al productor cuando sin los efectos del cambio climático la tendencia sería a que los precios aumentaran.

Estados Unidos sigue siendo el país más estudiado en términos de estimaciones de los impactos económicos del cambio climático en los mercados de madera (Joyce et al. 1995, Sohngen y Mendelsohn 1998, 1999, Irland et al. 2001, Joyce et al. 2001, Alig et al.2002).

Existen pocos estudios sobre el impacto económico del cambio climático en los mercados de madera en otras regiones, aunque los modelos globales brindan información sobre los efectos potenciales en la mayoría de las regiones. Los estudios regionales en estas otras regiones son en gran parte una colección de evaluaciones ecológicas de los impactos del cambio climático en el incremento anual neto, manteniendo las cortas de madera en los niveles de referencia (p. ej. Lelyakin et al. 1997, Nabuurs et al. 2002).

En general, los estudios en los EE. UU. han encontrado que el cambio climático probablemente reducirá los precios de los productos de madera y aumentará la producción. Estos cambios beneficiarán a su vez a los consumidores, pero potencialmente perjudicarán a los productores. Sin embargo, los efectos en los EE. UU. varían de una región a otra. Sohngen y Mendelsohn (1998, 1999) sugieren que los productores del sur y noroeste del Pacífico de EE. UU. podrían experimentar los impactos económicos negativos del cambio climático, mientras que los productores del noreste y centro norte de EE. UU. se podrían incluso llegar a beneficiar. Debido a que el cambio climático reduce los precios, las regiones con grandes existencias comercializables tienen las mayores pérdidas potenciales en el valor de los activos. Burket et al. (2000) encontraron resultados similares para el sur de los Estados Unidos utilizando un modelo económico regional solo para esa región. Alig et al. (2002), sin embargo, sugieren que es probable que la producción se expanda más en el sur de Estados Unidos que en el norte de Estados Unidos a medida que cambia el clima.

Tabla 3 Ejemplos de estimación de impactos del Cambio Climático en el sector forestal

Área de Estudio / Fuente	Impacto en la producción	Impacto Económico
Global Sohngen et al. (2001)	2045: producción global aumentada entre un 29% y un 38%; ↓ América del Norte, Rusia; ↑ América del Sur y Oceanía; 2145: producción aumenta en un 30%, ↑ América del Norte y del Sur, Rusia	2045: reducción de precios globales ↓ en latitudes altas, ↑ en latitudes bajas; 2145: aumento de precios hasta 80% (sin c.climático), 50% (con c. climático), ↑ en latitudes altas, ↓ en latitudes bajas;
Global Perez-Garcia et al.(2002)	Aumento de la cortas en el oeste de Estados Unidos (2-11%), Nueva Zelanda (10-12%), América del Sur (10-13%); disminución de la corta en Canadá	Demanda satisfecha; caída de precios con aumento del bienestar de productores y consumidores
Global Lee et al (2004)	2080, sin cambio climático: aumento de la extracción de madera industrial en un 65% (demanda normal) o 150% (demanda alta); las regiones emergentes triplican su producción; con el cambio climático: aumento de la extracción de madera industrial en un 25% (demanda normal) o 56% (alta demanda), el E de Siberia y el S de EE.UU. dominan la producción	Sin cambio climático: el precio de la madera para pasta aumenta un 44%; aumento de madera maciza 21%;  Con el cambio climático: el precio de la madera para pasta baja un 25%; la madera maciza disminuye un 34%;
Europa Nabuurs et al (2002)	18% de aumento relacionado con el clima en el crecimiento global de la madera para 2030 desaceleración a largo plazo	
Europa Solberg et al. (2003)	Aumento de la producción en Europa Occidental, disminución de la producción en Europa del Este.	Caída de precios con aumento del bienestar de productores y consumidores; aumento de los beneficios de la industria forestal y los propietarios de bosques.
Europa Schroeter (2004)	Aumento del crecimiento forestal (especialmente en el N de Europa) El 60-80% del cambio de existencias es causado por la gestión, el clima explica el 10-30% y el resto es causado por el cambio de uso de la tierra.	En los escenarios A1f y A2, la demanda de madera superó la posibilidad potencial, especialmente en la segunda mitad del siglo XXI; en los escenarios B1 y B2 se puede satisfacer la demanda futura de madera
EE.UU. Alig et al. (2002) National Assessment Synthesis Team (2001)	Aumento de existencias de madera en un 12% (medio plazo); 24% (largo plazo) y pequeño aumento de los aprovechamientos; cambio importante en las especies y aumento del área quemada entre un 25% y un 50%; en general, los bosques a más altitud y del norte disminuyen, los bosques del sur se expanden.	Reducción de los precios de madera en rollo; el bienestar del productor se reduce en comparación escenario sin cambio climático; precios bajos; mejor para consumidores, peor para propietarios forestales.
EE.UU. Sohngen et al (1998)	Dependiendo de los modelos utilizados, se prevén ganancias o pérdidas de productividad; pérdida de distribución de especies.	Impacto pequeño, aunque generalmente positivo, en el mercado económico para todos los escenarios considerados en el modelo con pérdidas de productividad atenuadas en el modelo económico

Adaptados de Kirilenko et al. 2007

Los resultados para los EE. UU. y Canadá derivados de modelos globales son en gran medida consistentes con los análisis regionales. Sohngen et al (2005) ilustran que la producción en América del Norte depende de si hay eventos de perturbación a gran escala relacionados con el cambio climático. Específicamente, si el cambio climático aumenta la mortalidad en grandes áreas forestales, se prevé que la producción en América del Norte disminuya. En ese caso, los mayores impactos en la producción ocurran en las regiones montañosas del norte y el oeste, lo que sugiere impactos potenciales relativamente mayores en Canadá. Debido a que los precios son más bajos debido a la expansión de la producción mundial, los rendimientos del productor disminuyen si se produce grandes episodios de mortalidad en América del Norte. Los resultados de Sohngen et al (2005) ilustran cuán sensibles son la producción y los retornos de los productores en regiones del mundo tanto a los cambios en los regímenes de perturbación como a los impactos climáticos en otros países. Aunque no explican explícitamente los cambios en los regímenes de perturbación, Pérez-García et al. (2002) también encuentran que los rendimientos de los productores disminuyen en Canadá y Estados Unidos.

Nabuurs et al. (2002) y Karjalainen et al. (2003) utilizaron el modelo EFISCEN para evaluar la influencia del cambio climático en las existencias y los mercados forestales en Europa hasta 2050. Sus resultados indican que el cambio climático aumentará el incremento anual neto de los bosques hasta mediados de siglo. No estiman los efectos de estos cambios en consumidores y productores, sino que asumen que los aprovechamientos siguen el mismo camino con y sin impactos del cambio climático en el crecimiento forestal (lo que sugiere que no habría ningún impacto económico en los mercados). Sin embargo, dado el fuerte incremento en el incremento anual neto con el cambio climático proyectado por su modelo, la teoría económica nos dice que la producción de madera aumentaría en Europa y los precios de la madera caerían como resultado del cambio climático.

Sohngen et al. (2001) encuentran que la producción en Europa aumenta con el cambio climático este siglo. Los resultados de Pérez-García et al. (2002) muestran tanto aumentos como disminuciones en la producción dependiendo del escenario específico en su análisis. Los precios más bajos de la madera en ambos modelos provocan que los rendimientos del productor disminuyan como resultado del cambio climático.

Lelyakin et al. (1997) examinan los efectos del cambio climático en los bosques rusos durante un período de tiempo relativamente corto (hasta 2020). Muestran un mayor crecimiento anual neto en toda Rusia para 2020, con los mayores aumentos en las áreas más al norte, lo que sugiere que la producción forestal en Rusia se expandiría a medida que cambia el clima. Sohngen et al. (2001) muestran que la producción se expandió modestamente en Rusia hasta 2050 (2–6% en relación con la base), pero luego más rápidamente hasta el final del siglo (7–18% en relación con la base). Los rendimientos de los productores en Rusia disminuyen a pesar del aumento de la producción debido a la reducción de los precios provocada por el cambio climático.

Durante los últimos 30 años, la producción de madera en regiones como Australia, Nueva Zelanda y América del Sur ha aumentado drásticamente, debido a la expansión de especies de plantaciones de rápido crecimiento. En su mayor parte, se espera que estas tendencias continúen y se fortalezcan en ausencia del cambio climático. Por ejemplo, Pérez-García et al. (2002) sugieren que la producción se expandirá entre un 10% y un 13% durante los próximos 50 años en Chile, y Sohngen et al. (2001) sugieren ganancias similares (10-20%) en la producción durante los próximos 50 años en América del Sur, con ganancias más fuertes a partir de entonces (20-50%). Los resultados de Sohngen et al. (2001) sí muestran pérdidas potenciales en la

producción en Australia y Nueva Zelanda como resultado de las predicciones ecológicas que utilizaron.

Sohngen et al. 2001 ha examinado los impactos en regiones en desarrollo, como África, Sudeste de Asia y China. Los resultados de ese estudio indican que la producción y los ingresos forestales aumentan en los países de esas regiones debido al aumento de los rendimientos de madera y la adaptación al cambiar a especies de turnos más cortos. Al igual que en América del Sur, se prevé que los silvicultores amplíen su producción al continuar un cambio hacia especies de rotación corta a medida que cambia el clima.

La capacidad de las regiones con costes de producción más bajos para aumentar con éxito sus cortas debido a una mayor disponibilidad de madera y comercializar sus excedentes de madera y productos forestales produce la gran variación regional en el precio, la corta y las medidas de bienestar. A medida que estas regiones expanden la producción y la actividad comercial, deprimen los precios y obligan a otras regiones con costes de producción más altos a reducir sus cortas.

## Los escenarios para la evaluación futura

En la investigación del cambio climático, los escenarios describen trayectorias plausibles de diferentes aspectos del futuro que se construyen para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropogénico. Los escenarios representan muchas de las principales fuerzas impulsoras, incluidos los procesos, los impactos (físicos, ecológicos y socioeconómicos) y las posibles respuestas que son importantes para informar las políticas de cambio climático. Se utilizan para transferir información de un área de investigación a otra (por ejemplo, desde la investigación sobre sistemas energéticos y emisiones de gases de efecto invernadero hasta la modelización climática). También se utilizan para explorar las implicaciones del cambio climático para la toma de decisiones.

El objetivo de trabajar con escenarios no es predecir el futuro, sino comprender mejor las incertidumbres y los futuros alternativos, a fin de considerar las consecuencias de las diferentes decisiones u opciones en una amplia gama de futuros posibles.

Para comprender mejor los impactos del cambio climático en la industria forestal, es imperativo construir una mejor comprensión de los complejos efectos socioeconómicos encadenados de cada potencial factor de cambio y de la puesta en marcha de las políticas. Todo lo que influya sobre las existencias y la obtención, a partir de ellas, de madera para el mercado, tendrá un gran impacto en los sectores económicos relacionados.

Por otro lado, la demanda futura de productos forestales (fundamentalmente madera y biomasa forestal) depende no solo del efecto de la aplicación de políticas de mitigación del cambio climático, sino también de la evolución de los factores socioeconómicos en sí mismos.

## The Representative Concentration Pathways - RCPs

En 1992 el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) publicó el primer conjunto de escenarios de cambio climático, denominado IS92.

El Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (*Special Report on Emissions Scenarios SRES*) es un informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) que se publicó en 2000 (IPCC 2000). Los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero descritos en el Informe se han utilizado para hacer proyecciones de un posible cambio climático futuro. Los escenarios del SRES no separan los componentes del cambio climático de los factores socioeconómicos (IPCC 2000), lo que significa que los efectos de las políticas de mitigación no se pueden estudiar independientemente de los efectos del crecimiento de la población y del PIB. Los SRES se utilizaron en dos informes posteriores; el Tercer Informe de Evaluación (TAR) y el Informe de Evaluación Cuatro (AR4) y han proporcionado puntos de referencia comunes para una gran cantidad de investigación en ciencias del clima en la última década.

El Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC se basó en un nuevo conjunto de escenarios que reemplazaron a los SRES empleados en dos informes anteriores. Los nuevos escenarios se denominaron *Representative Concentration Pathways –RCP–* (Vías de concentración representativas).

Las RCP describen proyecciones de concentración atmosférica de gases de efecto invernadero bajo diferentes políticas de mitigación del cambio climático. Estos escenarios incluyen series de tiempo de emisiones y concentraciones del conjunto completo de gases de efecto invernadero (GEI), aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo / cobertura del suelo (Moss et al., 2008).

El término *vía (pathway)* enfatiza que no solo los niveles de concentración a largo plazo son de interés, sino también la trayectoria tomada a lo largo del tiempo para alcanzar ese resultado (Moss et al., 2010).

Los RCP generalmente se refieren a la parte de la ruta de concentración que se extiende hasta 2100, para la cual los Modelos de Evaluación Integrada (*Integrated Assessment Models*) produjeron los escenarios de emisión correspondientes.

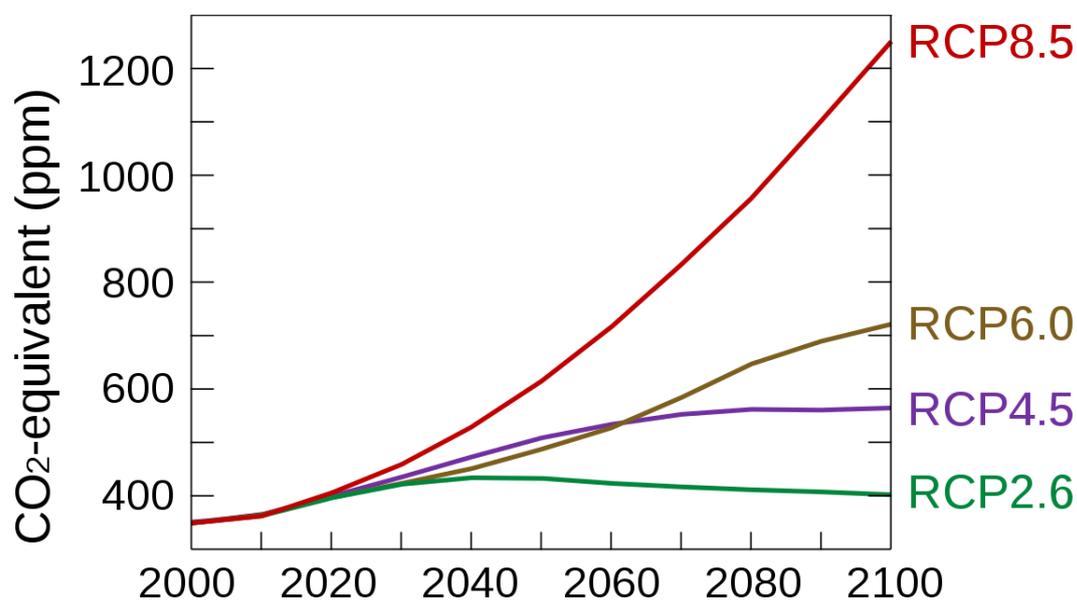
Las vías de concentración extendidas (*Extended Concentration Pathways - ECPs*) describen extensiones de los RCP de 2100 a 2500 que se calcularon utilizando reglas simples generadas por consultas a las partes interesadas.

Se seleccionaron cuatro RCP producidos a partir de modelos de evaluación integrados de la literatura publicada y se utilizan en la Quinta Evaluación del IPCC como base para las predicciones y proyecciones climáticas presentadas en los Capítulos 11 a 14 del GTI AR5:

Tabla 4 Descripción de las Representative Concentration Pathways - RCPs

<b>RCP2.6</b>	el forzamiento radiativo alcanza un máximo de aproximadamente 3 W/m <sup>2</sup> antes de 2100 y luego disminuye (el ECP correspondiente asumiendo emisiones constantes después de 2100)
<b>RCP4.5</b>	el forzamiento radiativo se estabiliza en aproximadamente 4,5 W/m <sup>2</sup> después de 2100 (las ECP correspondientes suponen concentraciones constantes después de 2150)
<b>RCP6.0</b>	el forzamiento radiativo se estabiliza en aproximadamente 6 W/m <sup>2</sup> después de 2100 (las ECP correspondientes suponen concentraciones constantes después de 2150)
<b>RCP8.5</b>	el forzamiento radiativo alcanza más de 8,5 W/m <sup>2</sup> para 2100 y continúa aumentando durante algún tiempo (el ECP correspondiente asumiendo emisiones constantes después de 2100 y concentraciones constantes después de 2250).

Figura 6 Esquema de la RCPs - IPCC



## The Shared Socioeconomic Pathways - SSPs

Debido a que, además de la influencia meramente climática, ejercen múltiples tendencias socioeconómicas, demográficas, tecnológicas, de estilo de vida, políticas e institucionales, la comunidad de investigación del cambio global ha desarrollado un conjunto de narrativas conocidas como vías socioeconómicas compartidas - *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP) (Riahi et al. 2017).

El desarrollo y uso de futuros alternativos para se ha utilizado durante décadas (Meadows et al. 1972; Gallopin et al. 1997; Nakicenovich et al. 2000), siendo los SSP una de las aplicaciones más recientes de este método. Los SSP a nivel mundial se han desarrollado para especificar cinco vías distintas en el desarrollo de futuros socioeconómicos (Riahi et al. 2017). Los SSP se desarrollan principalmente para permitir la investigación y el análisis de políticas centrados en el cambio climático, pero su amplia perspectiva permite utilizarlos como referencia para estudiar escenarios no exclusivamente relacionados con el clima (O'Neill et al. 2014).

El conjunto actual de SSP varía desde un mundo 'sostenible' que es altamente adaptativo y enfrenta desafíos socioeconómicos relativamente bajos (**SSP1**) a uno que está bastante fragmentado con instituciones globales relativamente débiles y enfrenta un alto crecimiento de población (**SSP3**), lo que potencialmente crea desafíos relativamente altos. Cuatro de las narrativas describen varias combinaciones de desafíos altos o bajos para la adaptación y la mitigación, mientras que el quinto (**SSP2**) describe los desafíos moderados de ambos. SSP2 fue diseñado para tener tendencias que no son extremas en ninguna dimensión y, por lo tanto, siguen un camino intermedio. También suele estar alineado con una ruta de "*business as usual*", ya que muchos de los indicadores continúan las tendencias históricas. Las proyecciones cuantitativas están disponibles actualmente para el desarrollo de la población, la urbanización y las variables de desarrollo económico en la base de datos de escenarios del SSP (IIASA 2018).

Las SSP se desarrollaron en relación con las proyecciones de concentraciones de gases de efecto invernadero hasta 2100, las anteriormente descritas RCP, para proporcionar escenarios de proyecciones alternativas plausibles de desarrollo social en las próximas décadas.

Las narrativas de las SSP incluyen datos cuantitativos sobre la población y la producción económica agregada y descripciones cualitativas de otros factores sociales como la tecnología y la gobernanza. Las cinco SSP se definieron por el grado de desafíos que enfrentan las sociedades para adaptarse o mitigar el cambio climático. Las SSP no brindan opciones de políticas ni incluyen retroalimentaciones climáticas en la sociedad (O'Neill et al. 2014, 2017).

Intentaremos, en lo posible referir las predicciones de impactos y vulnerabilidad en este informe a través del marco de las SSP por los siguientes motivos:

- el Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA), ha desarrollado en base a cada una de las SSP un conjunto transparente de descripciones cuantitativas de los ingresos futuros y la población por país, que podría usarse para futuras análisis.
- son el mismo marco utilizado por otras evaluaciones prospectivas realizadas para países, subregiones y otros sectores económicos, lo que permite comparaciones más consistentes entre estudios.

Sin embargo, las evaluaciones de los impactos socioeconómicos futuros y las vulnerabilidades del cambio climático están plagadas de dificultades e incertidumbres.

Como se reconoce ampliamente en toda la literatura socioeconómica, las proyecciones futuras de las condiciones económicas son intrínsecamente inciertas. Estas incertidumbres se ven agravadas por los vínculos que las predicciones económicas establecen con los modelos climáticos y ecológicos que contienen, a su vez sus propias incertidumbres, particularmente cuando se abordan los impactos a nivel subregional y local.

Estas dificultades se ven agravadas no solo por la complejidad de los ecosistemas forestales y sus respuestas al cambio climático, sino también por la naturaleza indirecta de los vínculos entre la prestación de servicios de los ecosistemas forestales y el bienestar humano.

En la tabla 5 se muestra un breve resumen de las narrativas globales de las SSP. Además, En las figuras 7, 9, 10 y 11 se indican los resultados agregados globales para cada uno de los escenarios atendiendo al reto de adaptación y mitigación del cambio climático, población, educación, urbanización y desarrollo económico.

Se han desarrollado los denominados **escenarios SSP-RCP** relacionando las *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP) y *Representative Concentration Pathways* (RCP) (Lauri et al., 2019, Lauri et al., 2017, Van Vuuren et al., 2011; Riahi et al., 2017). Estos escenarios SSP-RCP se han utilizado también para analizar los cambios en el uso del suelo (Doelman et al., 2018), la bioenergía tradicional y el uso de restos de corta y cultivos energéticos (Daiglou et al., 2019).

No obstante, la comparación entre las trayectorias de emisiones de SSP y RCP varía entre modelos y análisis, y es difícil alinear cada SSP con un RCP determinado. Por ejemplo, Riahi et al. (2017) encontraron que el forzamiento radiativo estaba relativamente alineado para las combinaciones de RCP8.5 / SSP5 y RCP6.0 / SSP1, pero ninguno de los SSP siguió de cerca a RCP4.5 o 2.6.

La figura 8 muestra las evoluciones temporales para cada SSP combiandas con cada escenario RCP.

Finalmente, la tabla 6 resume los principales factores con influencia forestal de cada una de las SSP.

Tabla 5 Descripción de las Shared Socioeconomic Pathways IPCC

<b>SSP1</b>	<p><b>Sostenibilidad:</b> “el camino verde” (desafíos bajos para la mitigación y la adaptación)</p> <p>El mundo cambia de manera gradual, pero generalizada, hacia un camino más sostenible, enfatizando un desarrollo más inclusivo que respeta los límites ambientales percibidos. La gestión de los bienes comunes globales mejora lentamente, las inversiones en educación y salud aceleran la transición demográfica y el énfasis en el crecimiento económico se desplaza hacia un énfasis más amplio en el bienestar humano. Impulsada por un compromiso cada vez mayor para lograr los objetivos de desarrollo, la desigualdad se reduce tanto entre los países como dentro de ellos. El consumo está orientado hacia un bajo crecimiento material y una menor intensidad de recursos y energía.</p>
<b>SSP2</b>	<p><b>“A medio camino”</b> (desafíos medios para la mitigación y la adaptación)</p> <p>El mundo sigue un camino en el que las tendencias sociales, económicas y tecnológicas no se desvían marcadamente de los patrones históricos. El desarrollo y el crecimiento de los ingresos avanzan de manera desigual, con algunos países logrando un progreso relativamente bueno mientras que otros no cumplen las expectativas. Las instituciones mundiales y nacionales trabajan para lograr los objetivos de desarrollo sostenible, pero lo hacen lentamente. Los sistemas ambientales experimentan degradación, aunque hay algunas mejoras y, en general, la intensidad del uso de recursos y energía disminuye. El crecimiento de la población mundial es moderado y se estabiliza en la segunda mitad del siglo. La desigualdad de ingresos persiste o mejora lentamente y persisten los desafíos para reducir la vulnerabilidad a los cambios sociales y ambientales.</p>
<b>SSP3</b>	<p><b>Rivalidad regional:</b> un camino empedrado (grandes desafíos para la mitigación y la adaptación)</p> <p>El resurgimiento del nacionalismo, las preocupaciones sobre la competitividad y la seguridad y los conflictos regionales empujan a los países a centrarse cada vez más en cuestiones nacionales o, a lo sumo, regionales. Las políticas cambian con el tiempo para orientarse cada vez más hacia cuestiones de seguridad nacional y regional. Los países se centran en alcanzar los objetivos de seguridad energética y alimentaria dentro de sus propias regiones a expensas de un desarrollo de base más amplia. Disminuyen las inversiones en educación y desarrollo tecnológico. El desarrollo económico es lento, el consumo es intensivo en materiales y las desigualdades persisten o empeoran con el tiempo. El crecimiento de la población es bajo en los países industrializados y alto en los países en desarrollo. Una baja prioridad internacional para abordar las preocupaciones ambientales conduce a una fuerte degradación ambiental en algunas regiones.</p>
<b>SSP4</b>	<p><b>Desigualdad:</b> “un camino dividido” (desafíos bajos para la mitigación, desafíos altos para la adaptación)</p> <p>Las inversiones sumamente desiguales en capital humano, combinadas con las crecientes disparidades en las oportunidades económicas y el poder político, conducen a un aumento de las desigualdades y la estratificación tanto entre países como dentro de ellos. Con el tiempo, se ensancha una brecha entre una sociedad conectada internacionalmente que contribuye a los sectores de la economía mundial intensivos en conocimiento y capital, y una colección fragmentada de sociedades de bajos ingresos y con poca educación que trabajan en una economía de baja tecnología y con un uso intensivo de mano de obra. La cohesión social se degrada y los conflictos y los disturbios se vuelven cada vez más comunes. El desarrollo tecnológico es alto en la economía y los sectores de alta tecnología. El sector energético globalmente conectado se diversifica, con inversiones tanto en combustibles intensivos en carbono como el carbón y petróleo no convencional, como también en fuentes de energía bajas en carbono. Las políticas ambientales se enfocan en temas locales en áreas de ingresos medios y altos.</p>
<b>SSP5</b>	<p><b>Desarrollo impulsado por tecnología y combustibles fósiles:</b> “tomando la autopista” (grandes desafíos para la mitigación, bajos desafíos para la adaptación)</p> <p>Este mundo confía cada vez más en los mercados competitivos, la innovación y las sociedades participativas para producir un rápido progreso tecnológico y el desarrollo del capital humano como camino hacia el desarrollo sostenible. Los mercados globales están cada vez más integrados. También hay fuertes inversiones en salud, educación e instituciones para mejorar el capital humano y social. Al mismo tiempo, el impulso por el desarrollo económico y social se combina con la explotación de abundantes recursos de combustibles fósiles y la adopción de estilos de vida intensivos en recursos y energía en todo el mundo. Todos estos factores conducen a un rápido crecimiento de la economía mundial, mientras que la población mundial alcanza su punto máximo y disminuye en el siglo XXI. Los problemas ambientales locales como la contaminación del aire se gestionan con éxito. Existe fe en la capacidad de gestionar de manera eficaz los sistemas sociales y ecológicos, incluso mediante la geoingeniería si es necesario</p>

Rihai et al, 2016

Figura 7 Esquema de las SSP en función de mitigación y adaptación



Figura 8 Escenarios RCP-SSP

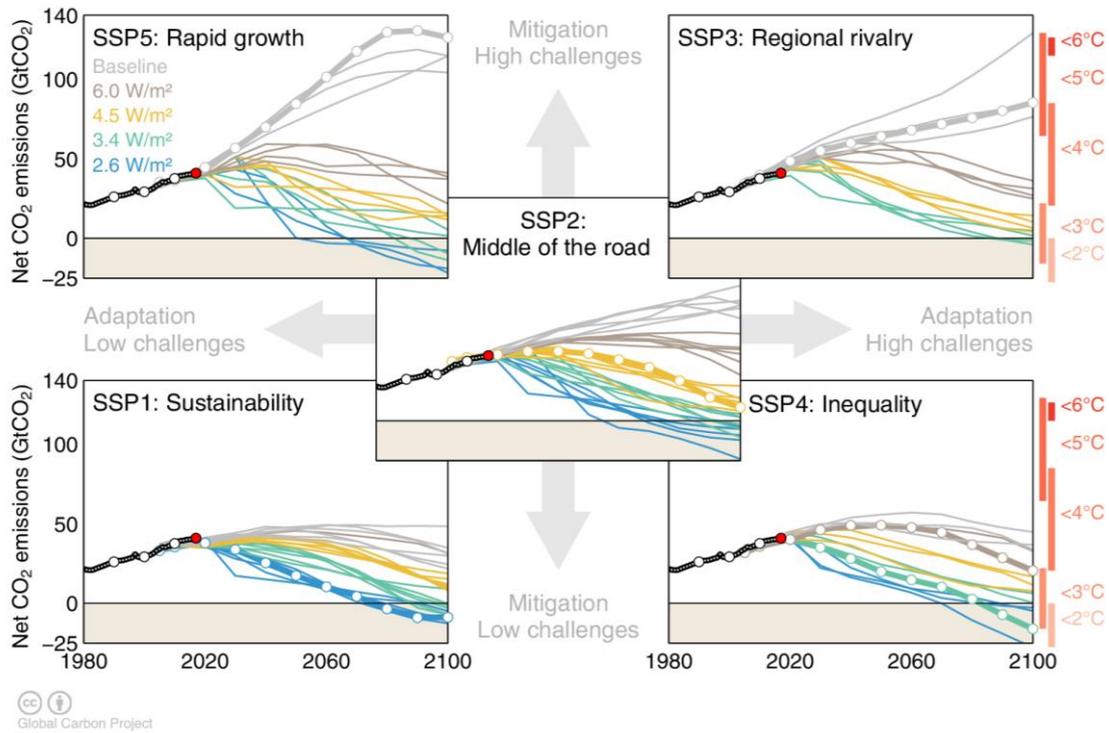
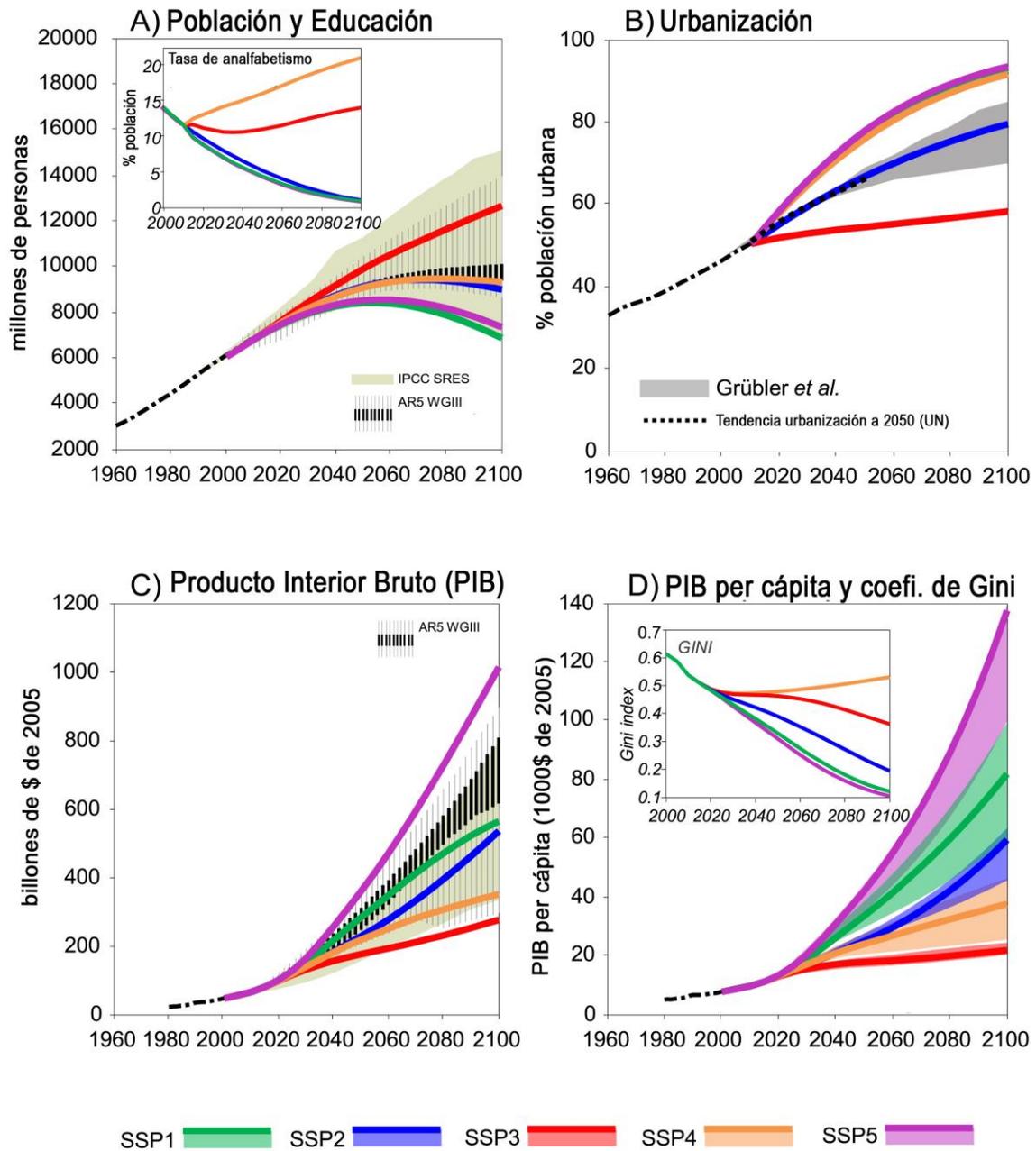


Figura 9 Evolución de diferentes variables socioeconómicas para cada SSP:



Riahi et al. (2017)

Figura 10 Cambios en usos de suelo para las distintas SSP

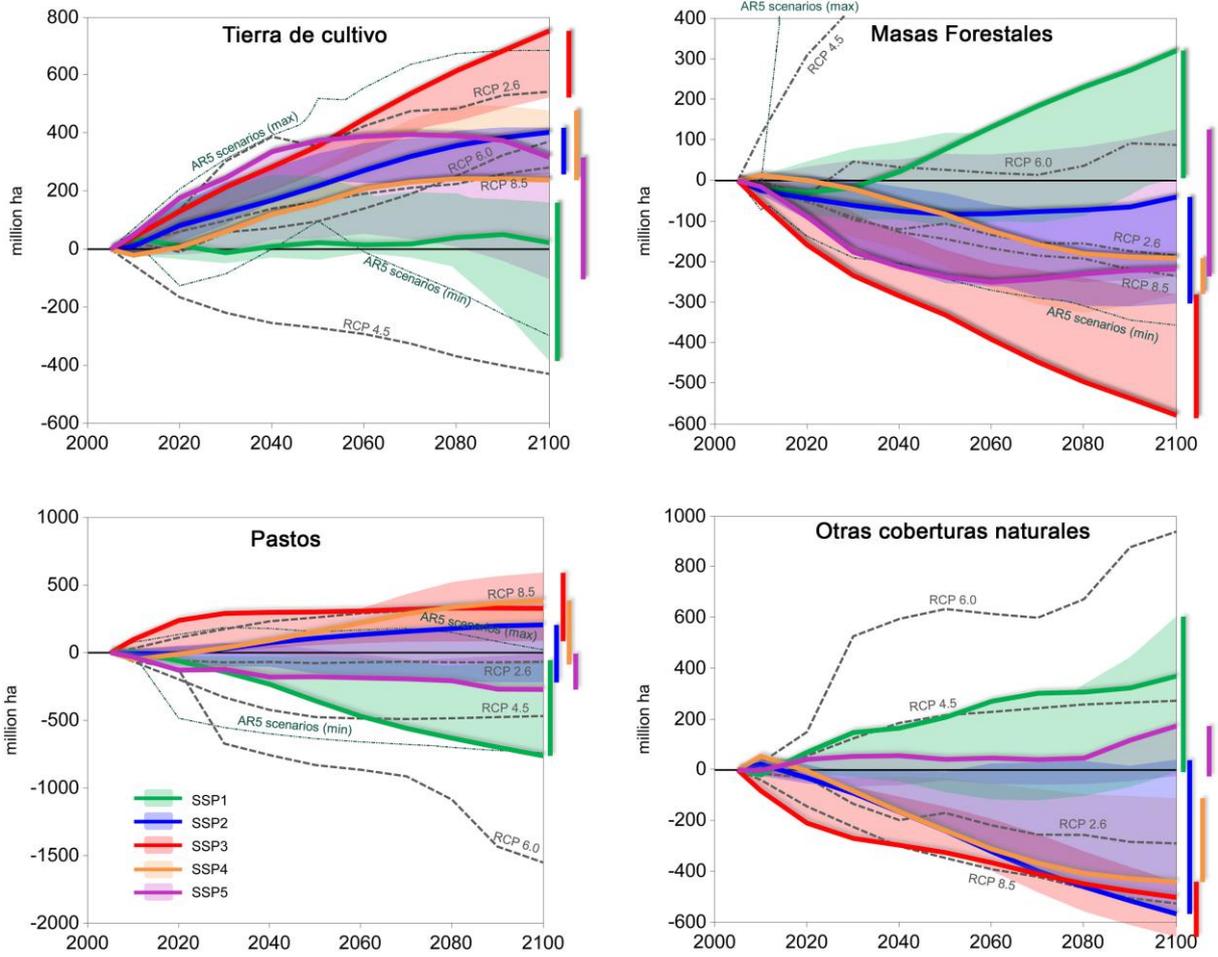


Figura 11 Estructura de energía primaria (A y B) y demanda de energía final (C) de las SSP

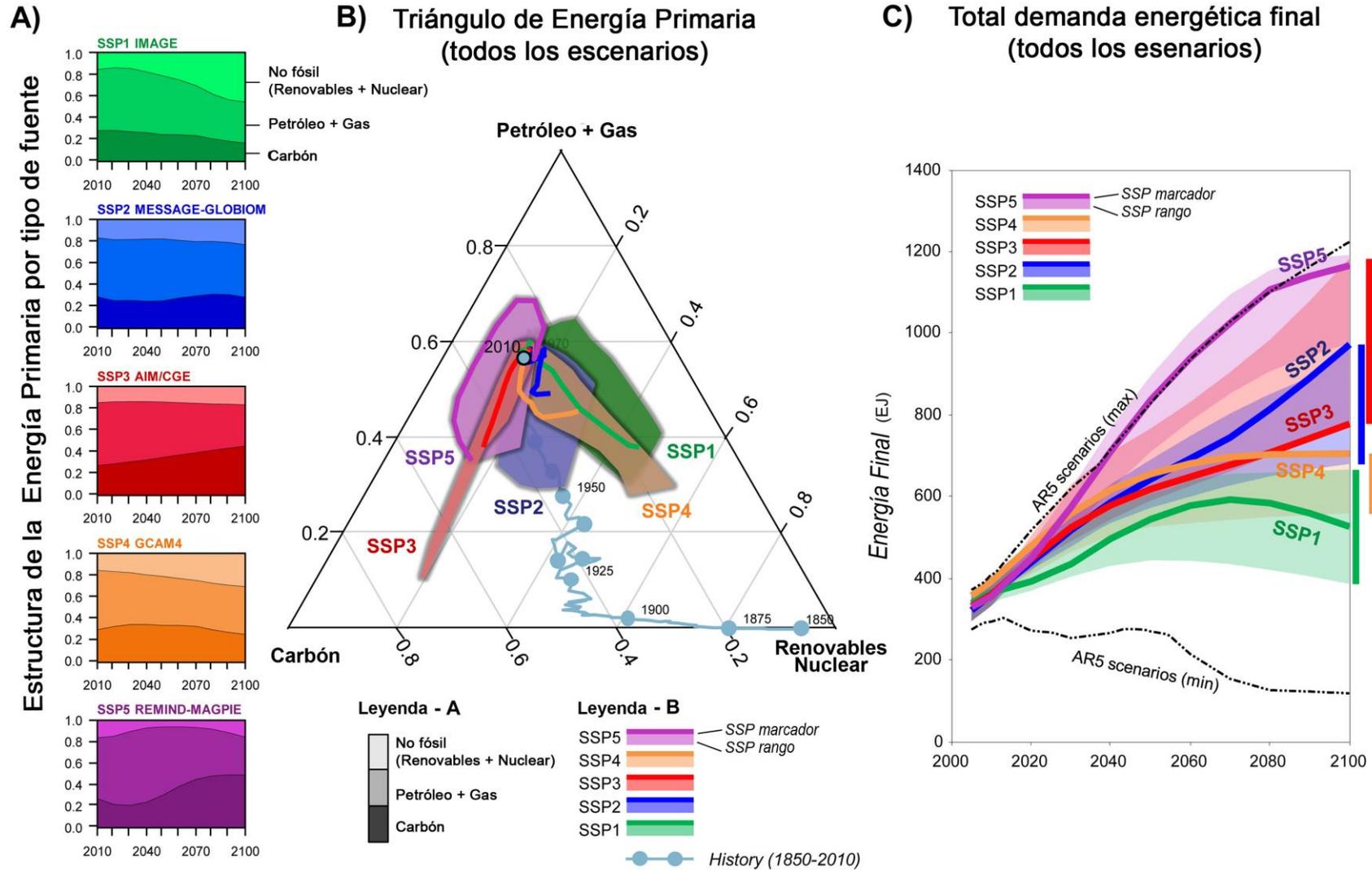


Tabla 6 Relación de factores claves con las SSP

Factor	SSP1	SSP2	SSP3	SSP4	SSP5
Crecimiento económico	Bajo	Medio	Bajo	HIC: Alto LIC: Bajo	Alto
Crecimiento población	Bajo	Medio	Alto	HIC: Bajo LIC: Alto	Bajo
Conectividad de Mercado	Global	Regional a Global	Local a Regional	HIC: Global LIC: Regional	Global
Cambio tecnológico	Alto	Medio	Bajo	HIC: Alto LIC: Medio	Alto
Regulación del uso de la tierra	Muy Alto	Medio	Bajo	HIC: Alto LIC: Med-Bajo	Medio
Intensidad de la Gestión Forestal	Medio-Alto	Medio	Bajo	HIC: Alto LIC: Bajo	Alto
Demanda de Productos Forestales	Alto	Medio	Bajo	HIC: Alto LIC: Bajo	Muy Alto
Demanda de biomasa forestal (energía)	Alto	Medio-Alto	Medio	HIC: Medio LIC: Med-Alto	Alto

HIC: Países altos ingresos; LIC: Países bajos ingresos

## The Forest Sector Pathways – FSPs

Para analizar, de forma particular, cómo el sector forestal global podría variar en los cinco diferentes SSP, Daigneault et al. (2019) desarrollaron las **Forest Sector Pathways (FSP)**. Por ahora las FSP se describen solo de manera cualitativa y todavía no existe una forma comúnmente aceptada de cuantificarlos.

Estas narrativas “forestales” adaptadas partir de las SSP son importantes, ya que se espera que el sector forestal mundial desempeñe un papel clave en el logro de los objetivos de estabilización climática a largo plazo y otros objetivos de desarrollo sostenible (Forsell et al., 2016; Grassi et al., 2017). Las FSP pretenden resaltar interacciones potenciales importantes entre el crecimiento macroeconómico, las políticas, los mercados de productos forestales, la productividad, la dinámica de los aprovechamientos y otras decisiones relevantes en la gestión forestal. Ignorar estas interacciones o no tener en cuenta la heterogeneidad de la base de recursos forestales en las distintas áreas geográficas puede exagerar o subestimar el papel potencial del sector forestal mundial en la mitigación del cambio climático o los impactos que este puede causar sobre el mismo.

Cada una de las FSP propuestas por Daigneault et al. (2019) incluyen especificaciones sobre los siguientes aspectos:

1. Regulación del uso de la tierra
2. Crecimiento de la productividad forestal
3. Impacto ambiental de las actividades forestales
4. Comercio internacional de productos forestales
5. Políticas de mitigación específicas en el sector forestal
6. Eficiencia de la transformación y uso de la madera
7. Consumo de productos forestales primarios y secundarios
8. Mercado y Precios del carbono forestal

Tabla 7 Descripción de las The Forest Sector Pathways – FSPs

<p><b>FSP1</b></p> <p><b>SSP1</b></p>	<p><b>Sostenibilidad: “el camino verde”</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Las regulaciones del aprovechamiento forestal se extienden globalmente y las tasas de deforestación en zonas tropicales y en bosques primarios se reducen considerablemente.</li> <li>– Los rendimientos de los cultivos agrícolas aumentan rápidamente en los países de ingresos bajos y medios, lo que reduce el impacto en los bosques y otras áreas naturales al reducir la presión de la deforestación.</li> <li>– Los rendimientos de las plantaciones forestales aumentan rápidamente en todo el mundo debido a una mejor gestión y más intensiva.</li> <li>– En las masas forestales que no son plantaciones, la intensidad de las cortas se reduce y se enfatiza la conservación de los ecosistemas.</li> <li>– Los precios del carbono y las regulaciones sobre el uso de la tierra se utilizan para evitar la pérdida de bosques naturales por usos de la tierra en competencia, y los bosques plantados gestionados intensivamente proporcionan una proporción cada vez mayor de los productos de madera.</li> <li>– El consumo general se reduce y las sociedades se caracterizan por un bajo crecimiento del consumo de productos forestales y una menor intensidad en recursos y energía.</li> <li>– La sustitución de materias primas de origen fósil conduce a un mayor uso de la madera en la construcción, y el desarrollo de nuevos productos basados en recursos biológicos es rápido, mientras que el consumo de papel y cartón convencionales disminuye a un ritmo más rápido que el observado en las dos primeras décadas de la década de 2000.</li> <li>– La mayor eficiencia en el uso industrial de la madera y las nuevas tecnologías que permiten altas tasas de reciclaje se difunden rápidamente en todo el mundo y, por lo tanto, reducen la demanda de fibra virgen para la producción de papel y cartón.</li> <li>– Existe una mayor demanda de madera y otros productos forestales (incluyendo servicios) producidos de manera "sostenible", especialmente de aquellos acreditados por sistemas de certificación reconocidos internacionalmente.</li> <li>– Las bajas tasas de consumo de energía contribuyen a un aumento relativamente pequeño de la demanda de transporte y electricidad a base de biomasa forestal; sin embargo, la proporción de biocombustibles aumenta dentro del consumo total de energía.</li> <li>– A partir de 2020 se aplica una política global de mitigación del cambio climático con la participación activa de la mayoría de los países.</li> <li>– Los precios de las emisiones de GEI y los incentivos para el secuestro de carbono forestal a través de la forestación, la mejora del gestión forestal y la reducción de las emisiones por deforestación y degradación (REDD) se negocian fácilmente en un mercado mundial de carbono.</li> </ul>
<p><b>FSP2</b></p> <p><b>SSP2</b></p>	<p><b>“A medio camino”</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– A nivel mundial las tendencias sociales, económicas y tecnológicas continúan los patrones y tendencias actuales.</li> <li>– El aprovechamiento forestal está regulado, aunque no en todos los países y la deforestación tropical y de bosques primarios sigue las tendencias actuales.</li> <li>– Los rendimientos de las plantaciones forestales aumentan, pero a un ritmo decreciente, en ciertas partes del mundo.</li> <li>– Los rendimientos de los cultivos también aumentan hasta cierto punto, particularmente en ciertos países de ingresos bajos y medios, pero no lo suficiente como para minimizar el efecto de la necesidad de expandir las tierras agrícolas a expensas de los bosques y otras áreas naturales.</li> <li>– El consumo de recursos y la intensidad energética aumentan a un ritmo decreciente y, como resultado, todavía existe una amplia demanda de productos forestales "tradicionales", que generalmente se comercializan en los mercados regionales.</li> <li>– Se mantienen las tendencias actuales hacia la reducción del consumo de papeles gráficos (papel de periódico, papel de impresión y de escritura), mientras que la demanda de envases basados en papel continúa expandiéndose.</li> <li>– La demanda de consumo medio de energía da como resultado un aumento de la demanda constante de combustibles para transporte y electricidad a partir de biomasa forestal.</li> <li>– La mayoría de los países desarrollados comienzan a implementar una política global de mitigación del cambio climático en 2020, y los países en desarrollo ingresan a ese mercado para 2040.</li> <li>– Los pagos por secuestro de carbono a través de la forestación y el control de la deforestación se establecen a partir de 2030.</li> </ul>

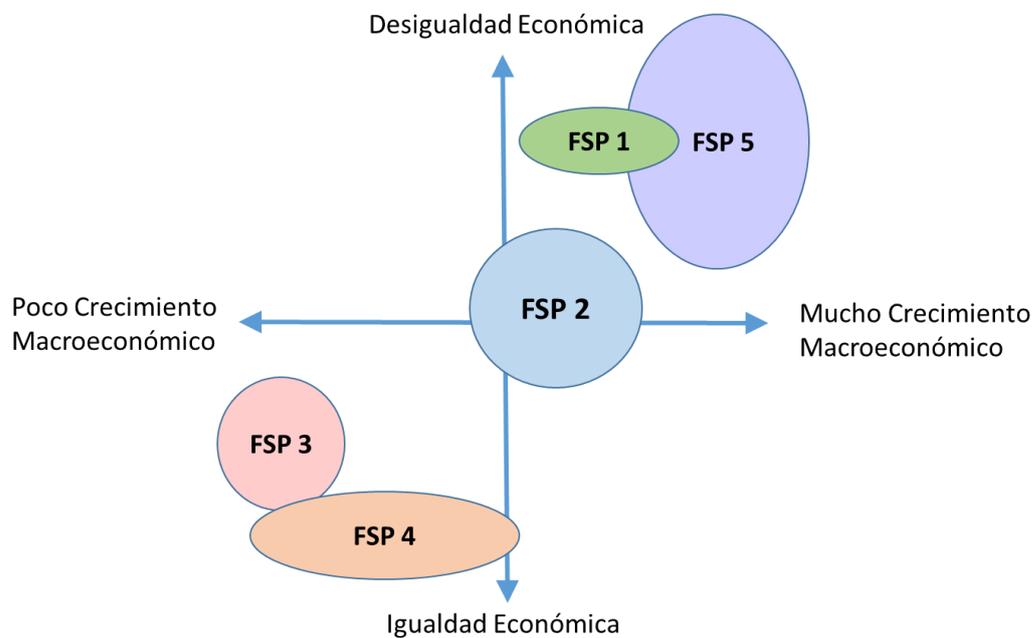
<p><b>FSP3</b></p> <p><b>SSP3</b></p>	<p><b>Rivalidad regional:</b> un camino empedrado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– El mundo y la economía global se vuelve cada vez más compartimentado debido a las preocupaciones nacionales sobre la competitividad y la seguridad.</li> <li>– El aprovechamiento forestal está sometido a escasas regulaciones en la mayor parte del mundo, lo que favorece aprovechamientos intensivos de madera y restos forestales, junto con la continua deforestación tropical y de bosques primarios que en algunos países en desarrollo aumenta respecto a las tendencias pasadas.</li> <li>– Las mejoras en el rendimiento de las plantaciones forestales son escasas debido a la falta de inversión y al menor comercio internacional.</li> <li>– Los rendimientos de los cultivos también disminuyen hasta cierto punto con el tiempo, particularmente en algunos países de ingresos bajos y medios, lo que lleva a un aumento significativo de las reotuciones de bosques y otras áreas naturales.</li> <li>– El consumo de recursos y energía per cápita es alto en los países desarrollados, pero la una gran parte de la población de países en desarrollo no aumenta su consumo al mismo ritmo.</li> <li>– Las mejoras tecnológicas se estancan, con poco desarrollo de nuevos biomateriales.</li> <li>– El crecimiento de la productividad es lento y se centra en soluciones locales.</li> <li>– El alto consumo de energía da como resultado una demanda constante de combustibles a base de biomasa, pero el énfasis está en los biocombustibles sólidos, con poco desarrollo de biocombustibles líquidos a base de biomasa forestal.</li> <li>– La mayoría de los países desarrollados comienzan a implementar una política nacional o regional de mitigación del cambio climático en 2020, y los países en desarrollo ingresan a ese mercado alrededor de 2030.</li> <li>– Las emisiones agrícolas tienen un precio a partir de 2020, pero los pagos por la captura de carbono forestal a través de la forestación y el control de la deforestación no están vigentes hasta 2030 en los países desarrollados y 2050 en el resto de los países. Incluso cuando los precios del carbono se aplican al sector forestal, lo hacen con menor valor que los precios de los GEI de origen energético e industrial.</li> </ul>
<p><b>FSP4</b></p> <p><b>SSP4</b></p>	<p><b>Desigualdad:</b> “un camino dividido”</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– La enorme desigualdad en inversiones capital humano, combinadas con las crecientes disparidades en las oportunidades económicas y el poder político, conducen a un aumento de las desigualdades y la estratificación tanto entre los países como dentro de ellos.</li> <li>– El aprovechamiento forestal está fuertemente regulado en el mundo desarrollado, mientras existe una regulación deficiente o no existe regulación efectiva en los países de ingresos bajos y medios conduce a una mayor degradación de los bosques, caracterizada por una explotación intensiva y poca atención a la gestión sostenible o la consideración ambiental.</li> <li>– Los rendimientos y la gestión de las plantaciones forestales mejoran en los países de economías avanzadas, pero el desarrollo en otros lugares es mínimo y se limita a las plantaciones que producen materia prima para los países más desarrollados.</li> <li>– Los bajos rendimientos de los cultivos en los países en desarrollo conducen a un aumento significativo de la superficie agrícola, especialmente cerca de los trópicos, lo que contribuye a las altas tasas de deforestación en los bosques tropicales.</li> <li>– El consumo de recursos y energía sigue la tendencia actual, y el mundo desarrollado hace una transición más rápida hacia un uso de menor intensidad. Esto da como resultado una demanda constante de combustibles para el transporte y la generación de electricidad a partir de biomasa forestal. En los países desarrollados este uso se ve limitado por la exigencia de sostenibilidad. Sin embargo, en los países de bajos ingresos, la leña sigue siendo la principal fuente de combustible.</li> <li>– La mayoría de los países desarrollados comienzan a cooperar en la política regional de mitigación del cambio climático a partir de 2020, y los países en desarrollo ingresan a ese mercado entre 2030 y 2050. Los pagos por el secuestro de carbono forestal a través de la forestación y el control de la deforestación se implantan a partir de 2030, pero solo en algunos países.</li> </ul>

Tabla 7 cont

<p><b>FSP5</b></p> <p><b>SSP5</b></p>	<p><b>Desarrollo impulsado por tecnología y combustibles fósiles: “tomando la autopista”</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Este mundo confía cada vez más en los mercados competitivos, la innovación y las sociedades participativas para producir un rápido progreso tecnológico y el desarrollo del capital humano como camino hacia el desarrollo sostenible.</li> <li>– La gestión forestal sostenible no se aplica de manera constante en todo el mundo y, por lo tanto, la deforestación continúa, aunque a un ritmo decreciente.</li> <li>– Los rendimientos y la gestión de las plantaciones forestales aumentan rápidamente, impulsados por una mayor demanda de productos forestales en un mercado globalmente integrado, con la ayuda del aumento de las inversiones en tecnología en el sector forestal.</li> <li>– Los rendimientos de los cultivos también aumentan en todo el mundo, pero la fuerte demanda de productos animales sigue presionando para la creación de pastos por la roturación de masas forestales.</li> <li>– El consumo de recursos y energía crece más rápido que las tendencias históricas.</li> <li>– Los mercados de productos forestales son globales, lo que permite a los países especializarse e invertir en nuevas tecnologías y nuevos productos que se comercializan internacionalmente. Como consecuencia, la demanda de material de embalaje y combustibles para el transporte aumenta considerablemente.</li> <li>– Si bien la demanda de combustibles fósiles domina, también hay un aumento constante en la producción y el consumo de combustibles para transporte y generación de electricidad a base de biomasa forestal.</li> <li>– Existe un gran interés en desarrollar una política global de mitigación del cambio climático, pero la cooperación internacional no se logra por completo hasta 2040. Los pagos por el secuestro de carbono forestal a través de la forestación y la deforestación evitada no tienen precio hasta al menos 2030.</li> </ul>
---------------------------------------	---

Daigneault et al. (2019)

Figura 12 Esquema de las FSP en función del crecimiento económica y la desigualdad



(el tamaño de la burbuja representa la incertidumbre) – Adaptado de Daigneault et al. (2019)

Tabla 8 Resumen de los aspectos clave de cada FSP

	FSP1	FSP2	FSP3	FSP4	FSP5
<b>Regulación del uso de la tierra</b>	Fuerte regulación para evitar daños al medio ambiente.	Regulación media; enfocado en la reducción de la deforestación	Regulación limitada; deforestación continua	Altamente regulado en pasies de ingresos medios y altos (MIC y HIC); la falta de regulación en los países de bajos ingresos (LIC) conduce a altas tasas de deforestación	Regulación media; disminución lenta de la tasa de deforestación
<b>crecimiento de la productividad forestal</b>	Grandes mejoras en la productividad de las plantaciones forestales y el manejo forestal; rápida difusión de las mejores prácticas	Aumento medio de la productividad en bosques y plantaciones gestionados	Desarrollo de productividad muy bajo	Productividad forestal alta en países de ingreso alto, baja en países de bajos ingresos	Altamente gestionado, requiere muchos recursos; rápido aumento de la productividad
<b>Impacto ambiental de las actividades forestales</b>	Intensidad de aprovechamiento reducida en bosques no plantados, énfasis en la conservación de los valores ambientales. Mayor superficie protegida de las actividades forestales	Impactos ambientales medios de las actividades forestales	Los aprovechamientos intensivos aumentan el estrés sobre la biodiversidad y otros valores ambientales.	HIC: una reglamentación estricta garantiza reservas adecuadas y consideraciones medioambientales; MIC y LIC: impactos negativos en el medio ambiente debido a un control deficiente	Los aprovechamientos intensivos causan más estrés al medio ambiente, pero un nivel moderado de regulación y reserva reduce los impactos dañinos
<b>Comercio Internacional</b>	Moderado	Moderado	Fuertemente restringido	Moderado	Alto, con especialización regional en producción
<b>Globalización</b>	Mercados conectados, producción regional	Economía globalizada semiabierta	Desglobalización, seguridad regional	Élites conectadas globalmente	Fuertemente globalizado
<b>Políticas de mitigación en el territorio</b>	Sin demora en la cooperación internacional para la mitigación del cambio climático. Plena participación del sector LULUCF	Cooperación internacional retrasada para la mitigación del cambio climático. Participación parcial del sector LULUCF	Cooperación internacional muy retrasada para la mitigación del cambio climático. Participación limitada del sector LULUCF	Sin demora en la cooperación internacional para la mitigación del cambio climático. Participación parcial del sector LULUCF	Cooperación internacional retrasada para la mitigación del cambio climático. Plena participación del sector LULUCF
<b>Eficiencia en el uso de madera (uso en cascada, reciclaje, nuevos materiales...)</b>	Alto, con rápido desarrollo de nuevas tecnologías para materiales de base biológica	Medio bajo, con enfoque principal en tecnología local	Medio-alto en HIC; Bajo en LIC	Alto, con rápido desarrollo de nuevas tecnologías y especialización regional.	Reciclaje y uso en cascada en términos medios
<b>Consumo de productos de madera</b>	Disminución del consumo general, con una alta proporción de materiales a base de madera.	Medio, siguiendo tendencia histórica	Alto consumo total, énfasis en productos convencionales.	Medio, siguiendo tendencias históricas con países de bajos ingresos que dependen en gran medida de la leña como fuente de energía	Alto consumo general, con una participación moderada de materiales a base de madera y combustible.

Adaptado de Daigneault et al. (2019)

Las FSP presentadas proporcionan un marco coherente para calibrar los supuestos de cambio tecnológico y productividad del sector forestal, demanda de productos y otros aspectos relevantes relacionados con la gestión forestal y la transformación de sus productos. La coherencia en los supuestos subyacentes del SSP aplicados al sector forestal mundial puede facilitar los análisis de múltiples modelos y las comparaciones entre modelos. Los análisis comparativos que armonizan los supuestos clave de las FSP pueden dar como resultado esfuerzos de comparación de modelos más robustos al reducir las discrepancias en los supuestos del sector forestal, enfocando así las comparaciones en las diferencias en los atributos subyacentes del modelo, como la escala espacial y temporal y la cobertura sectorial.

En las figuras 13, 14, 15 y 16 se muestran la relación de cada una de la FSP con distintos factores relativos al sector forestal, concretamente, evolución del área forestal, evolución de la productividad forestal, incentivos a los sumideros de carbono en el sector y la demanda de productos forestales.

En las secciones siguientes de este informe, se intentará referir a las SSP o a las FSP a la hora de establecer las predicciones en el potencial impacto del cambio climático sobre el sector forestal en general y la industria de la madera en particular.

Figura 13 FSPs en función de la previsible evolución del Área Forestal

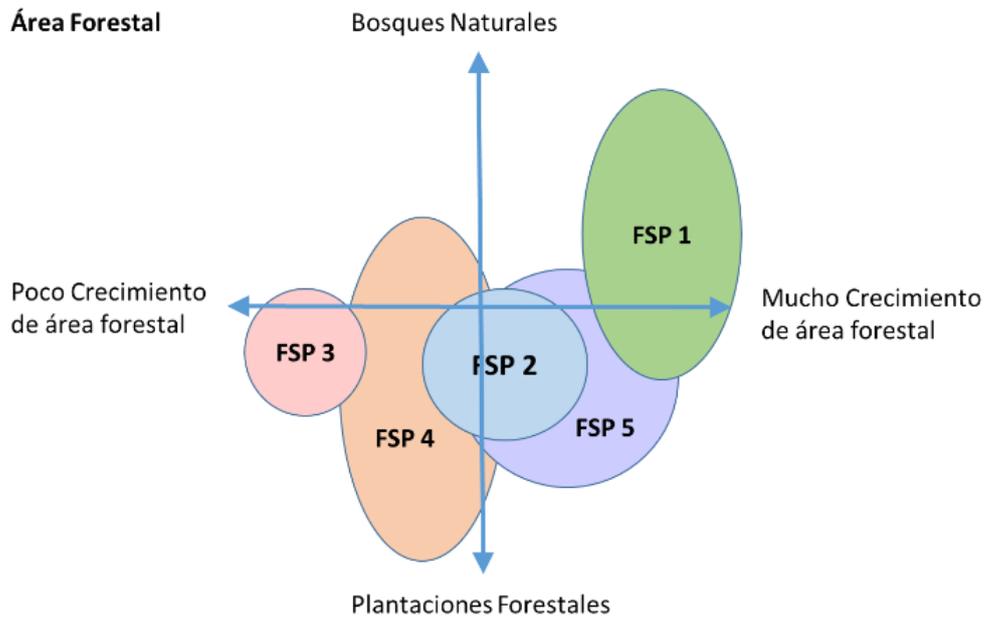


Figura 14 FSPs en función de la previsible evolución de la Productividad del sector forestal

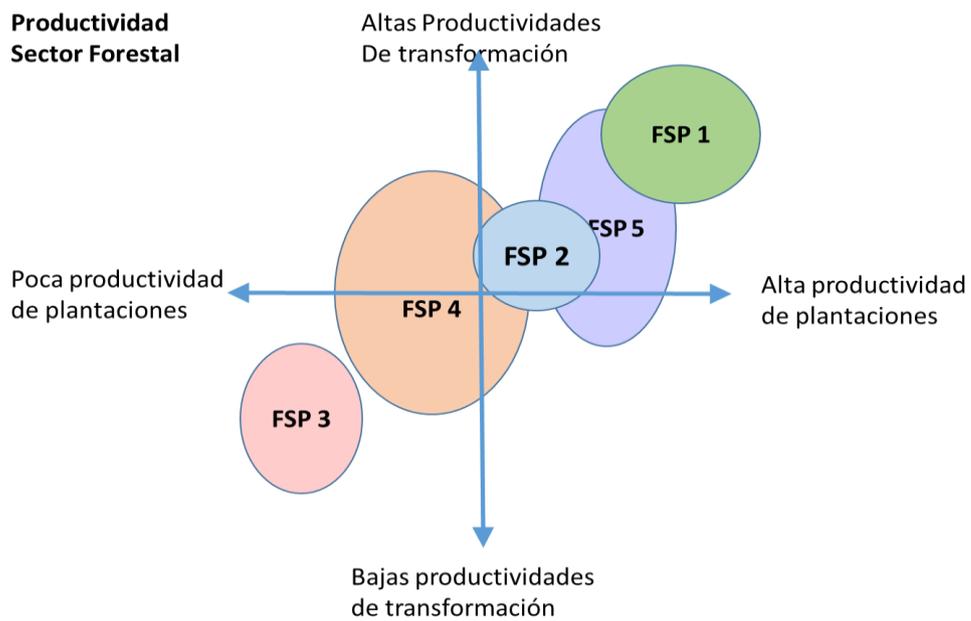


Figura 15 FSPs en función de la aplicación de incentivos forestales por sumidero de carbono

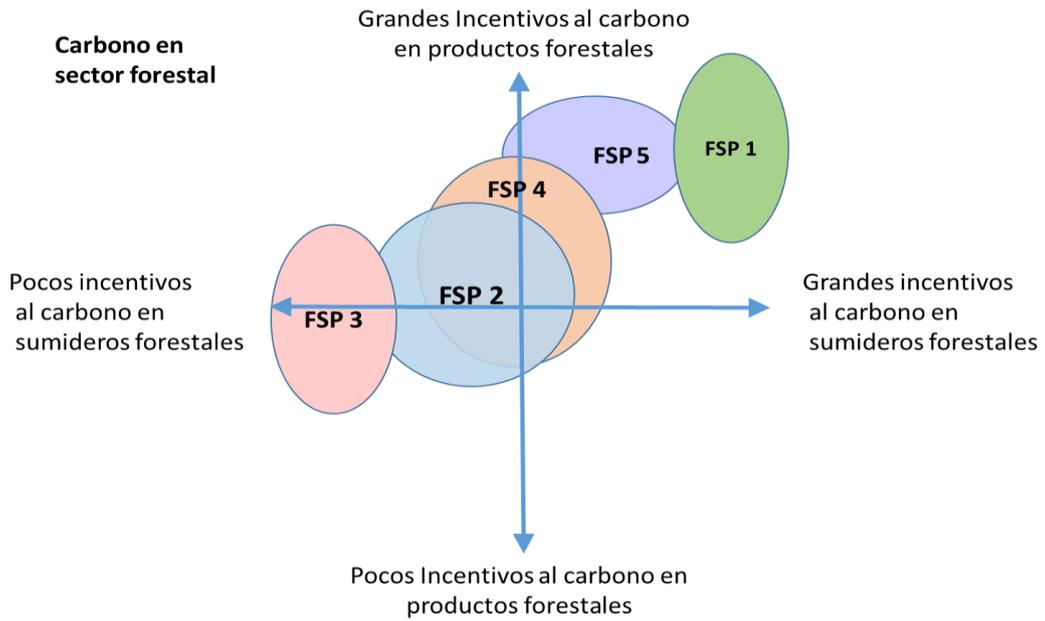
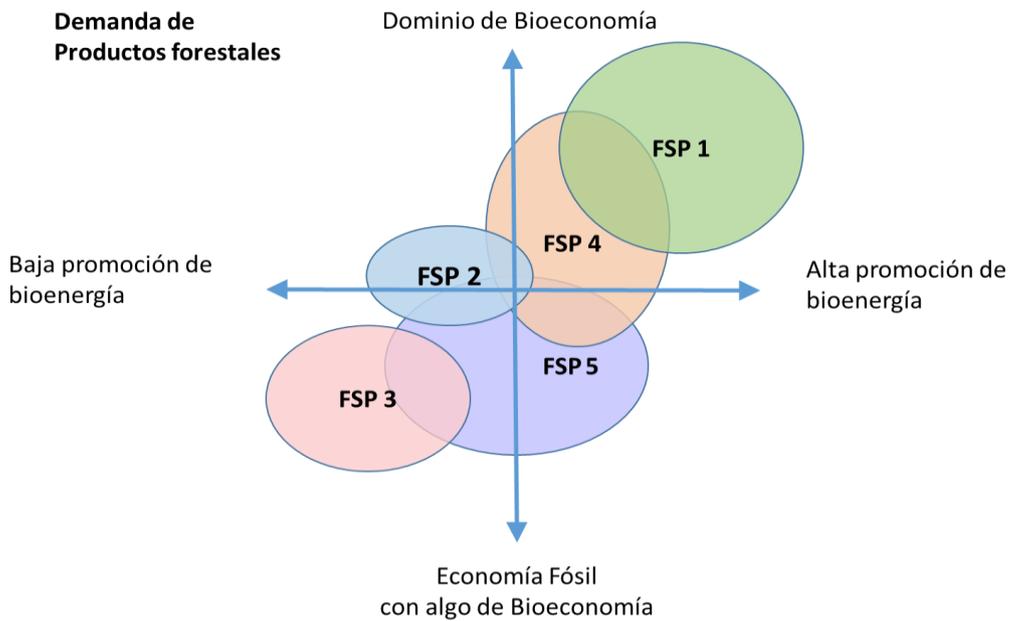


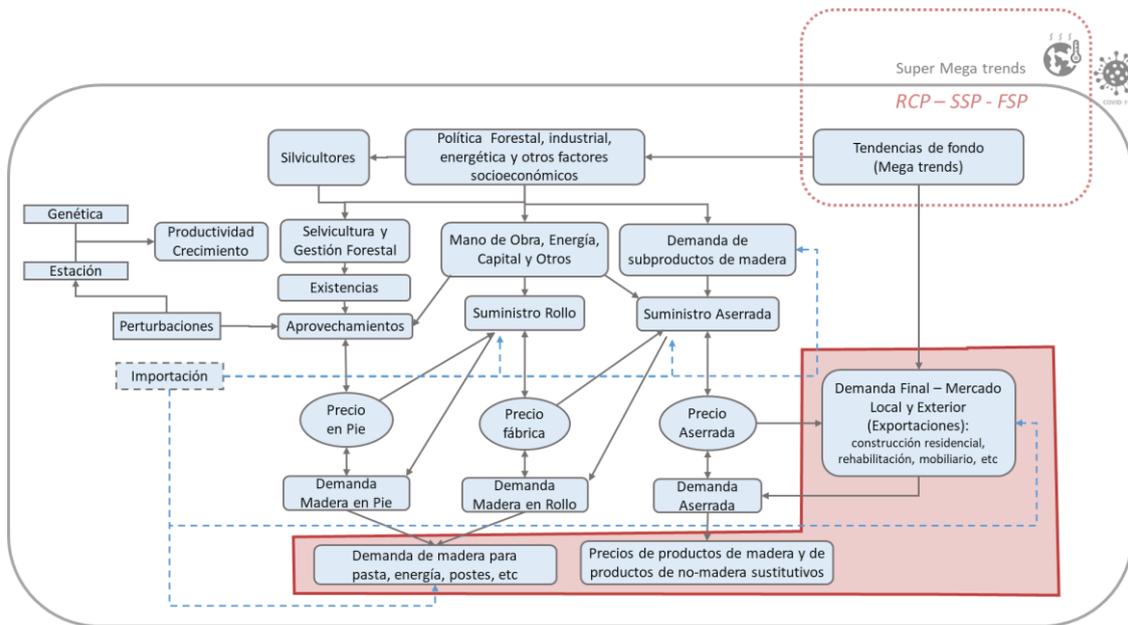
Figura 16 FSPs en función de la previsible demanda de productos forestales



# Cambios en Demanda de Madera



## Cambios en la demanda de madera.



Históricamente, la producción y el consumo de madera se ha dividido entre la producción primaria de leña, madera en rollo industrial (es decir, trozas para aserrar y madera para pasta) y los productos que se derivan de ellas.

Contrariamente a las predicciones previas de la FAO, que indicaban un rápido crecimiento de la demanda de madera industrial a 2.100 millones de m<sup>3</sup> para 2015 y 2.700 millones de m<sup>3</sup> para 2030, el crecimiento real de la demanda ha sido mucho más lento. La demanda actual de 1.600 millones de m<sup>3</sup> está ligeramente por encima de la demanda de 1.500 millones de m<sup>3</sup> a principios de la década de 1980.

Las proyecciones recientes de la FAO y el modelo *Global Timber Model*, entre otros, a menudo suponen un crecimiento de la demanda más modesto, de 1.800 a 1.900 millones de m<sup>3</sup> para 2010-2015. De manera similar a esta corrección de proyecciones anteriores para la madera industrial, el uso mundial de leña ya ha alcanzado un máximo de 1.900 millones de m<sup>3</sup> y es estable o está disminuyendo, y la proporción de carbón vegetal sigue aumentando a medida que la leña se convierte en carbón vegetal.

Sin embargo, el uso de madera como combustible y energía de biomasa podría escalar drásticamente ante el aumento de los precios de la energía y las nuevas tecnologías, particularmente si se crean incentivos para alejarse de los combustibles fósiles que emiten carbono y optar por los biocombustibles. Por lo tanto, la demanda real de productos forestales podría ser superior a las proyecciones de la FAO. Además, hay muchos otros productos y servicios que dependen de los recursos forestales para los cuales, nuevamente, no existen estimaciones satisfactorias de la demanda global futura.

Un aspecto importante de la evaluación del efecto que cada SSP puede tener en los bosques mundiales durante el próximo siglo es identificar los cambios probables que afectarían el consumo de diversos productos forestales, incluida la madera aserrada, la madera contrachapada y otros productos de larga duración, consumibles menos duraderos como como papel, papel de periódico y envases, fuentes de energía tales.

Hay varios elementos que pueden afectar el consumo de productos forestales a nivel mundial. Jönsson (2011) ha identificado una lista amplia que incluye patrones de globalización y desarrollo económico, cambio tecnológico, desarrollo de tecnologías de la información y la comunicación, políticas ambientales y de uso de la tierra, mitigación y adaptación de los impactos del cambio climático y sustitución de materiales. Para este documento, utilizamos información de la literatura sobre productos forestales y del SSP global para clasificar los principales elementos del consumo de productos forestales como: PIB, población, comercio, cambio tecnológico y preferencias de los consumidores (incluido el de producción sostenible frente a combustibles fósiles). bienes basados). Es probable que estos elementos tengan diversos grados de impacto sobre los recursos forestales y, en algunos casos, se compensarán potencialmente entre sí. Por ejemplo, se especifica que el escenario SSP3 (es decir, "Rivalidad regional") tiene un alto aumento de la población hasta 2100, pero con una trayectoria relativamente baja de crecimiento del ingreso per cápita.

Se espera que la naturaleza regionalizada de la economía SSP3 resulte en un menor comercio, un cambio tecnológico lento y una dependencia continua de los recursos nacionales de combustibles fósiles (O'Neill et al., 2017). Por lo tanto, es probable que una baja tasa de crecimiento del PIB per cápita, junto con una reducción del comercio en relación con las tendencias históricas, domine el efecto del cambio de población, lo que resultará en un consumo relativamente menor de la mayoría de los productos forestales en relación tanto con las tendencias históricas como en comparación con otros escenarios. Históricamente, la demanda mundial de productos ha crecido de manera constante con el tiempo y se espera que continúe creciendo. La tendencia en el consumo de productos forestales en general, así como los productos específicos demandados, podría variar regionalmente debido a cambios en los ingresos y la población (FAO, 2015). Esta tendencia es un fuerte impulsor del aumento del consumo general en los escenarios SSP1 y SSP5, que probablemente tendrán un alto crecimiento de los ingresos. Las economías regionales impulsadas por el mercado, junto con los costes de transporte relativamente bajos, han empujado al mundo a tener una economía más globalizada, facilitando así la creación y expansión de un mercado mundial de productos forestales.

Se espera que la tendencia continua de globalización varíe ampliamente entre los SSP, con el enfoque económico fuertemente globalizado y cada vez más conectado del SSP5 en un extremo y el enfoque de seguridad regional desglobalizado del SSP3 en el otro (O'Neill et al., 2017). Como resultado, se espera que el consumo de productos forestales en SSP3 experimente el menor crecimiento en el consumo total de productos forestales.

La progresión continua de Internet, las redes sociales y otras tecnologías de comunicación de información electrónica ha tenido un impacto notable en el consumo de papel prensa y papel de impresión y escritura, que ha disminuido en casi un 20% a nivel mundial durante la última década (FAO, 2017). Este fenómeno ha llevado a algunos a concluir que la elasticidad ingreso a largo plazo del papel prensa en los Estados Unidos se volvió negativa a fines de la década de 1980 (Hetemäki et al. 2001) y otros han argumentado que el papel prensa se ha convertido en un bien inferior y la demanda de papel prensa ahora disminuye con el crecimiento de los ingresos (Hetemäki, 2005).

De hecho, Latta et al. (2015) proporcionan evidencia de que la elasticidad-ingreso para el papel de periódico depende de la tasa por la cual la población de un país ha adoptado Internet, y Johnston (2016) muestra que no tener en cuenta las tasas futuras de adopción de Internet

resultará en un sesgo ascendente en el papel. previsiones del mercado de productos. Al mismo tiempo, el crecimiento continuo del comercio en línea puede seguir dependiendo de los envases de papel, pero no se sabe si esto es suficiente para compensar el declive en otros mercados de productos de papel. Por lo tanto, esperamos que el consumo de papel y papel periódico continúe siendo bajo o incluso disminuya en cuatro de los cinco escenarios del SSP. La única excepción a este caso es el SSP3, donde el alto crecimiento de la población junto con la reducción de la globalización impulsa un aumento en la demanda regional de lo que podría percibirse como un bien inferior en la actualidad. La demanda de energía a base de madera, tanto en forma de biomasa a escala industrial como de leña a nivel doméstico para la calefacción y la cocina tradicionales, podría tener diferentes impactos en el consumo de productos forestales. Estos están impulsados por políticas ambientales, incluida la mitigación del cambio climático y preocupaciones relativas sobre el desarrollo sostenible y el uso del sector forestal.

Es probable que una fuerte preferencia por el consumo de combustibles fósiles, como en los SSP 3 y 5, modere la demanda de energía a base de madera, mientras que un enfoque en la producción de energía a partir de fuentes renovables y sostenibles, como los bosques, podría resultar en un aumento relativo del consumo. particularmente para la energía basada en biomasa. Todavía existe un nivel relativamente alto de incertidumbre sobre la magnitud y la tendencia del consumo de biomasa en nuestros SSP, como se analiza en otras secciones del documento.

Por último, los bosques también pueden proporcionar una amplia gama de productos forestales no maderables (PFNM). El consumo de PFNM puede variar ampliamente, al igual que el subconjunto de estos tipos de bienes que el bosque puede proporcionar.

Por ejemplo, el SSP1 se centra en el consumo "sostenible" y, por lo tanto, puede hacer hincapié en la utilización eficiente de todos los materiales renovables que el bosque tiene disponibles y / o plantar especies que brinden una gama más amplia de bienes y servicios de los ecosistemas. Por otro lado, el consumo de PFNM para SSP3 aún podría ser relativamente alto ya que el alto crecimiento de la población junto con el acceso limitado a los mercados globales podría obligar a las personas a aprovechar cualquier recurso local que puedan encontrar. como leña y biomasa, y productos forestales no maderables.

El trabajo de Daigneault et al. (2019b) prevé que la demanda mundial de madera aumente con respecto a los niveles actuales en todos los SSP y está impulsada por el aumento del ingreso per cápita mundial y una mayor demanda de bioenergía en el futuro.

Sin embargo, la magnitud del aumento y los cambios en la demanda de productos madereros específicos varían ampliamente según el SSP considerado. Se han identificado cuatro efectos como los principales impulsores de los cambios en la demanda de madera: el efecto riqueza, el efecto sustitución, el efecto tecnológico y el efecto competencia por la tierra.

Los resultados se resumen en la figura 17 para (a) el total de madera consumida, (b) la madera con destino aserrado, (c) la madera de trituración y (d) la biomasa forestal.

El efecto riqueza domina en el escenario basado en combustibles fósiles (SSP5), donde el rápido aumento del consumo mundial per cápita duplica la demanda de madera aserrada y aumenta la demanda de madera para pasta en un 92% en 2100. Por otro lado, el mismo efecto riqueza deprime la demanda de productos madereros en el escenario de bajo crecimiento económico (SSP3).

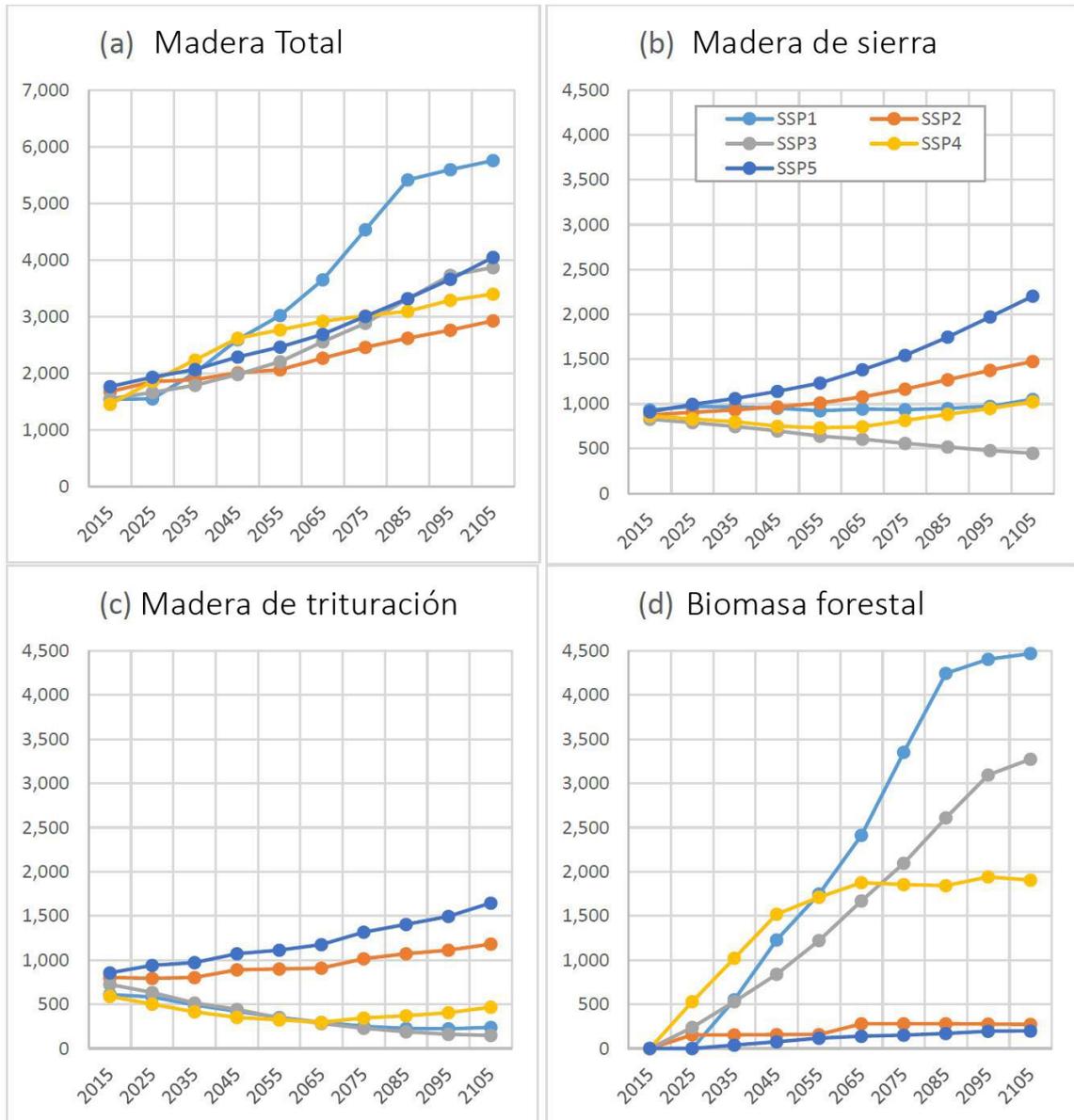
El efecto de sustitución hace que la demanda de productos de madera más sostenibles (madera aserrada) y bioenergía leñosa en el escenario de la vía sostenible (SSP1) aumenta a expensas de productos menos duraderos (madera para pasta de papel) o materia prima de bioenergía sostenible (biomasa).

Algunas de las mayores variaciones en las estimaciones se refieren a la producción de madera en rollo. La producción industrial de madera en rollo varía desde disminuir o permanecer relativamente constante a lo largo del tiempo en los SSP 1, SSP 3 y SSP4 hasta más del doble durante el próximo siglo para el SSP5 (caso de combustibles fósiles con un PIB per cápita alto y, en consecuencia, una alta demanda de productos de madera).

En general, Daigneault et al. (2019b), estiman un aumento de 0,6 a 1,5% anual en la producción total de madera (madera en rollo industrial y biomasa forestal) entre 2015 y 2105, con SSP2 y SSP1 sirviendo como los respectivos límites superior e inferior. Este resultado se debe principalmente a los cambios en la demanda de biomasa forestal, a diferencia de los cambios en las preferencias por los productos forestales tradicionales como la madera y el papel.

La cantidad de biomasa forestal suministrada para uso energético también es muy variable entre los distintos FSP-SSP. Entre 2035 y 2105, bajo SSP1 y SSP3, se estima que la biomasa forestal aumentará en casi un 3% por año, mientras que su producción aumentará solo en 0,8% bajo SSP4 y SSP2. Estas conclusiones parten de, entre otras cosas, asumir, como ya se ha visto, que en SSP1 se usaría la mayor proporción de biomasa forestal en todos los SSP (35% en 2100).

Figura 17 Evolución 2015-2105 del consumo global estimado de madera (Mm<sup>3</sup>)



Daigneault et. al (2019b)

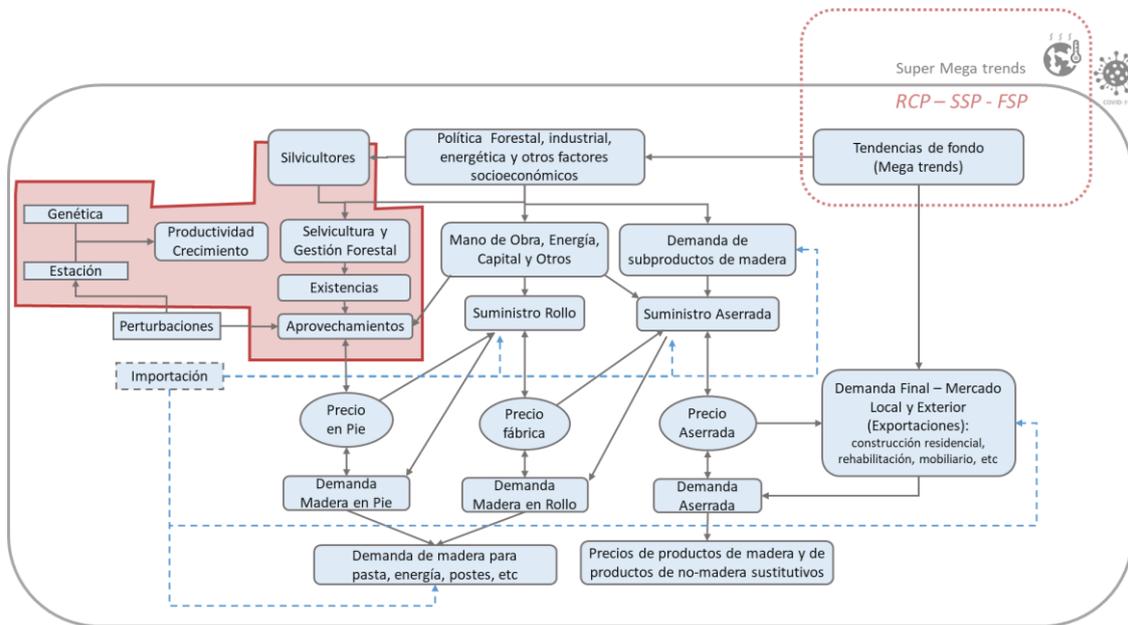
Tabla 9 Resumen de las tendencias de consumo de productos forestales para cada FSP

	FSP1	FSP2	FSP3	FSP4	FSP5
<b>Madera aserrada y Tableros derivados de madera</b>	Alto, impulsado por la demanda de recursos renovables	Medio, siguiendo tendencias históricas	Medio, impulsado por el rápido crecimiento de la población	Bajo, especialmente para LIC con ingresos limitados	Alto, impulsado por el efecto renta
<b>Papel de escritura y prensa</b>	Bajo, más énfasis en la información electrónica	Bajo, siguiendo las tendencias históricas	Alto, impulsado por el crecimiento de la población y las preferencias de consumo	Bajo	Bajo
<b>Cartón y embalajes</b>	Bajo, efecto ingreso atenuado por la demanda de bienes producidos localmente	Medio	Bajo, impulsado por un menor crecimiento del comercio y los ingresos	Bajo, especialmente para los países de bajos ingresos	Medio
<b>Leña de uso doméstico</b>	Bajo, impulsado por la sustitución por fuentes de energía más eficientes	Medio, siguiendo tendencias históricas	Bajo, impulsado por la sustitución de combustibles fósiles	Medio, con la mayor parte del consumo en países de bajos ingresos	Bajo, impulsado por la sustitución de combustibles fósiles
<b>Biomasa para energía</b>	Media, demanda de recursos renovables atemperada por preocupaciones sobre la sostenibilidad	Media, moderadamente regulada	Baja, mínima reglamentación	Media, con mayor consumo en países de alta ingresos	Baja, impulsada por la demanda de energía de origen fósil
<b>Nuevos productos forestales</b>	Alta, sustitución de fibra por productos de origen fósil (por ejemplo, plásticos) y ropa.	Medio, nuevo desarrollo de productos de construcción y basados en fibra.	Bajo, continúe consumiendo el conjunto de productos existente	Medio para los HIC, los LIC consumen productos existentes	Bajo crecimiento impulsado por complementos de productos de origen fósil
<b>Productos forestales no madereros (NTFP)</b>	Alto, énfasis en el uso eficiente de los recursos naturales. Desarrollo de biofármacos	Bajo	Medio, condicionado por los bajos ingresos y la necesidad de bajos consumos	Medio, impulsado por las necesidades de consumo de los LIC y las limitaciones de recursos	Medio, las preferencias de los combustibles fósiles dominan el efecto de crecimiento económico
<b>Consumo total</b>	Disminución del consumo total, con una alta proporción de materiales a base de madera	Medio, siguiendo tendencias históricas	Alto consumo total, énfasis en productos convencionales	Medio, siguiendo tendencias históricas con países de bajos ingresos que dependen en gran medida de la leña como fuente de energía	Alto consumo general, con una participación moderada de materiales a base de madera y combustible.



Cambios en la producción de madera

## Cambios en Producción de madera.



Impulsada por los cambios en la oferta y la demanda, la producción total de madera en rollo, incluida tanto la madera industrial como la leña para combustible, ha crecido de manera constante de 2.500 millones de m<sup>3</sup> en el decenio de 1960 a 3.200 millones de m<sup>3</sup> en el de 1990. En 2005, la producción alcanzó un máximo de 3.500 millones de m<sup>3</sup> debido a una larga tendencia de aumento de la producción en Europa, África y América del Sur, mientras que Asia y América del Norte se mantuvieron constantes o disminuyeron.

Lauri et al (2017) calcularon el potencial mundial de aprovechamiento de madera en rollo en 2010 como:

$$19,1 \text{ Gm}^3\text{c.c.} \approx 4,9 \text{ m}^3/\text{ha/año} \times 3.893 \text{ Mha}$$

donde 4,9 m<sup>3</sup>/ha/año es el rendimiento promedio de madera en rollo (= incremento promedio de 6,1 m<sup>3</sup>/ha/año – diferencia sobre el óptimo de cortas de 1,2 m<sup>3</sup>/ha/año) y 3.893 Mha de superficie forestal disponible para la extracción de madera en rollo en 2010.

El potencial mundial de extracción de restos de corta es de aproximadamente:

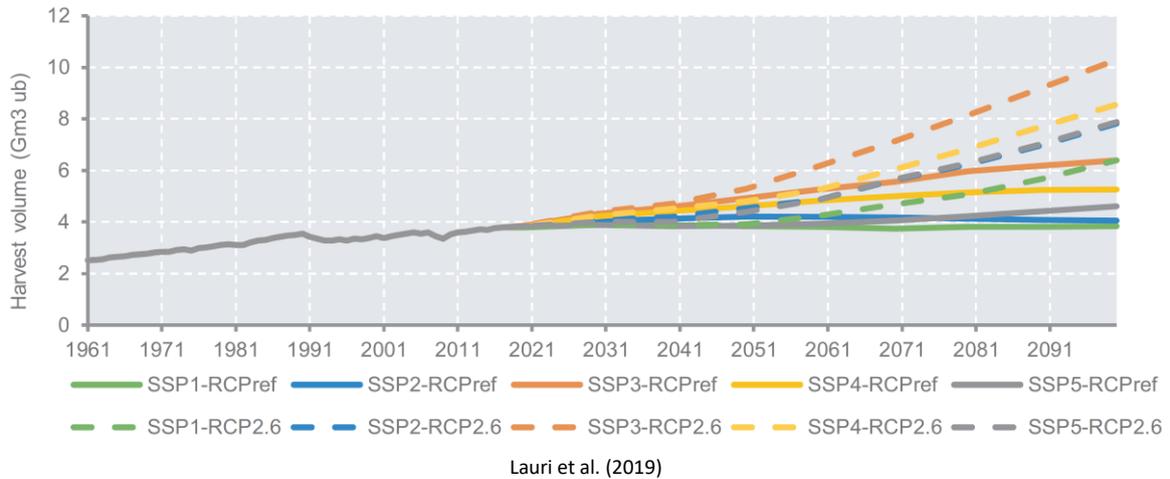
$$7,2 \text{ Gm}^3 \approx 0,5 \times (1,2 \text{ m}^3/\text{ha/año} + 2,5 \text{ m}^3/\text{ha/año}) \times 3.893 \text{ Mha},$$

donde 0.5 es la tasa de recuperación, 1,2 m<sup>3</sup>/ha/año es la pérdida promedio de corta, 2,5 m<sup>3</sup>/ha/año es el promedio de ramas y tocones y 3.893 Mha es el área forestal disponible para la recolección de restos de corta.

Los resultados de Lauri et al. (2019) resumidos en la figura 18 indican que el rango de posibles volúmenes de aprovechamiento futuros para las diferentes SSP es muy amplio en comparación con la estabilidad de los datos históricos. Esto provoca una incertidumbre considerable sobre las predicciones de desarrollo futuro del sector forestal global y las consecuencias a niveles inferiores. La diferencia más amplia entre SSP aparece al comparar el escenario de sostenibilidad SSP1 y el escenario de fragmentación SSP3. La transición de un escenario de desarrollo sostenible a otro dominado por un desarrollo socioeconómico

fragmentado aumentaría los volúmenes de corta globales en 2100 en un 60% respecto 2010 y la superficie forestal de aprovechamiento anual en un 30%.

Figura 18 Aprovechamiento de madera históricos y futuros en función de las SSP



Los pagos de carbono para incrementar el stock forestal de carbono aumentan los precios de la madera y la biomasa forestal y, simultáneamente, disminuyen la rentabilidad de la opción de aprovechamiento frente al mantenimiento de los árboles en pie. Estos incentivos benefician el aprovechamiento energético industrial frente al aprovechamiento de madera como material e incluso el aprovechamiento energético tradicional (leñas). Esto parece ser debido a la posibilidad de establecimiento de nuevas superficies de cultivos energéticos para soslayar la “inmovilización” de madera en las masas forestales. El aprovechamiento de madera como material y el aprovechamiento energético tradicional es más difícil de reemplazar y su demanda es inelástica.

Los estudios de modelización (ver tabla 11) generalmente predicen un mayor aumento de la producción mundial de madera en rollo industrial, con aumentos o disminuciones de los precios en el futuro del orden de  $\pm 20\%$ , y con los beneficios de una mayor producción. principalmente a los consumidores. La tendencia futura de la leña es más problemática dependiendo en gran parte del uso que se le dé a la madera para sustituir a los combustibles fósiles que emiten carbono de alto precio. Al mismo tiempo, es posible un cambio global en el suministro de madera industrial entre las zonas templadas y tropicales y entre los hemisferios norte y sur. La tendencia actual es hacia el sur de alta productividad y lejos de los bosques templados y boreales. Sin embargo, el calentamiento podría desplazar algunas de las actividades hacia el norte. Estos cambios podrían incrementar el comercio internacional de productos forestales para equilibrar los desequilibrios regionales en la oferta y la demanda.

Las regiones que parecen más susceptibles a los impactos del cambio climático en la producción de madera durante los próximos 50 años son América del Norte, Europa, Australia y Nueva Zelanda. La producción en América del Norte y Europa podría disminuir en los próximos 50 años debido a la desaparición inducida por el clima de las existencias de madera actuales y las menores inversiones en la producción de madera debido a los precios más bajos. Sin embargo, se espera que estos cambios sean modestos y que la producción aumente durante la segunda mitad del siglo. Por el contrario, se espera que la producción en Rusia se expanda modestamente durante la primera mitad del siglo, con aumentos más fuertes a finales de siglo.

El trabajo de Seppälä et al (2009), resumido en tabla 10, establece incrementos de la producción forestal para todas las áreas geográficas y tanto para el periodo hasta 2050 como para el periodo 2050-2100. Sin embargo, este estudio establece diferencias significativas entre regiones siendo Sudamérica, África, China y Sudeste Asiático donde se dan los mayores incrementos. Es en dichas regiones, además, donde se pronostica un aumento en los rendimientos para los productores, al contrario de Europa y América del Norte donde se auguran disminuciones.

Tabla 10 Impactos estimados del cambio climático en producción y retorno al productor

Región	Cambios en producción		Retorno para el productor
	2000–2050	2050–2100	
Norteamérica	-4 % a +10 %	+12 % a +16 %	↓
Europa	-4 % a +5 %	+2 % a +13 %	↓
Rusia	+2 % a +6 %	+7 % a +18 %	↓
Sudamérica	+10 % a +20 %	+20 % a +50 %	↑
Australia / Nueva Zelanda	-3 % a +12 %	-10 % a +30 %	↓↑
África	+5 % a +14 %	+17 % a +31 %	↑
China	+10 % a +11 %	+26 % a +29 %	↑
Sudeste asiático	+4 % a +10 %	+14 % a +30 %	↑

Seppälä et al (2009)

Tabla 11 Evolución 2010-2100 de variables productivas según modelos de simulación

	GLOBIOM Lauri et al. (2010)	GFPM Raunikar et al. (2010)	GTM Favero & Mendelsohn (2017)
Área forestal disponible 2010 (Mha)	3.893	3.900	3.500
Área forestal disponible 2100 (Mha)	3.877 – 4.479	3.900	3.200 – 5.000
Rendimiento medio madera en rollo (m <sup>3</sup> /ha/año)	4,9	4 d	2 d
Posibilidad de madera en rollo (Gm <sup>3</sup> c.c.)	19,1 - 22,0 (c.c.)	15,6 (s.c)	7,0 - 10,0 (s.c.)
Coste de producción de madera en rollo (\$/m <sup>3</sup> )	20 - 100	-	-
Elasticidad precio de la oferta	-	0,1 - 1	0,3 - 1,1
Uso de energía de biomasa forestal 2010 (Gm <sup>3</sup> )	3,2	1,9	0 c
Uso de energía de biomasa forestal 2100 (Gm <sup>3</sup> )	2,7 - 7,8	4,9 - 9,9	0 - 5,2
Uso de material de biomasa forestal 2010 (Gm <sup>3</sup> )	2,1	1,7	2,0
Uso de material de biomasa forestal 2100 (Gm <sup>3</sup> )	4,7	1,3 - 1,2	2,6 - 0,2
Cortas de madera en rollo 2010 (Gm <sup>3</sup> )	4,0 (c.c.)	3,6 (s.c)	2,0 (s.c)
Cortas de madera en rollo 2100 (Gm <sup>3</sup> )	4,5 - 7,0 (c.c.)	6,2 - 11,1 (s.c.)	2,6 - 5,4 (s.c)
Precios de la madera en rollo 2010 (\$ / m <sup>3</sup> )	60	70	100
Precios de la madera en rollo 2100 (\$ / m <sup>3</sup> )	80 - 120	150 - 400	100 – 1.830

GLOBIOM: low mitigation scenario=RCPref, high mitigation scenario=RCP2.6.

GFPM: low mitigation scenario=A2, high mitigation scenario=A1B; como emplea distintos horizontes temporales a efectos comparativos 2006 representa 2010 y 2060 representa 2100.

GTM: low mitigation scenario=radiative forcing 6.6 W/m<sup>2</sup>; high mitigation scenario=radiative forcing 3.4 W/m<sup>2</sup>;

Según Daigneault et al (2019c), los aumentos en el ingreso per cápita global junto con los otros atributos de cada SSP tienen un efecto muy fuerte en la producción y los precios globales de madera en rollo. Los volúmenes de corta en los diferentes SSP están fuertemente correlacionados con las otras estimaciones. Además, los precios más altos como resultado del aumento de la demanda incentivan la forestación, una gestión más intensiva y mayores producciones de madera en rollo.

La mayor variación en las estimaciones globales es la producción total de madera en rollo, que varía desde un ligero aumento con respecto a la estimación de 2015 de 1.800 millones de m<sup>3</sup> en SSP3 (rivalidad regional) a más del doble durante el próximo siglo para SSP5 (caso de combustibles fósiles con alta demanda de productos de madera). En general, se prevé un rango de entre 0,5% y 1,3% de aumento anual en la producción de madera en rollo entre 2015 y 2100, con SSP3 y SSP5 como los límites respectivos. Este resultado se debe principalmente a cambios en la demanda de productos de madera, analizados en el apartado anterior.

Se estima que los precios de la madera aserrada y para trituración aumentarán en todos los SSP (figura 19). Las tasas de variación de los precios de la madera (0,6% a 2,7% anual) son generalmente más altas que el aumento de la producción de todas las SSP. Los resultados reflejan la influencia relativamente limitada de la intensidad de la gestión y los parámetros de cambio tecnológico, ya que no cambian lo suficientemente rápido para mantenerse al día con la creciente demanda a lo largo del tiempo. Sin embargo, los cambios en los costes de acceso a la tierra tienen algún impacto en los resultados, ya que los cambios en el área forestal pueden afectar la cantidad de madera en rollo disponible para aprovechar, especialmente en la segunda mitad del siglo.

Los supuestos sobre el nivel de bioenergía global que se genera a partir de la biomasa forestal en cada SSP tienen un gran impacto en las estimaciones del modelo, particularmente con respecto a la producción total de madera y los precios de la madera.

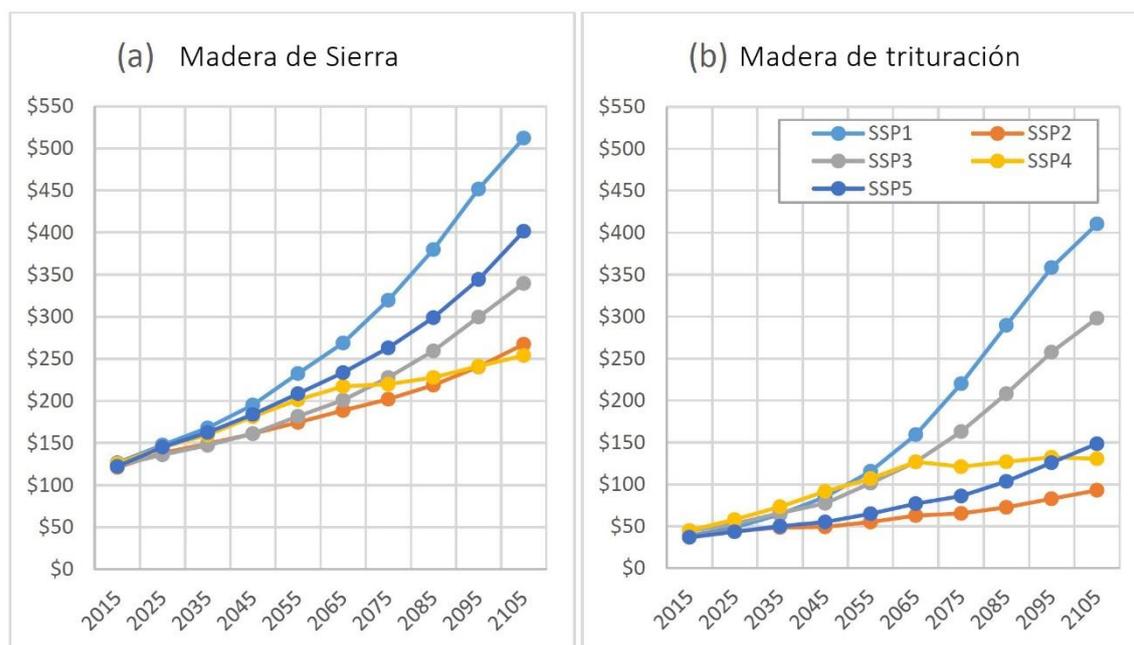
Este es un aspecto importante, especialmente bajo estrictos objetivos de estabilización que apuntan a alcanzar el objetivo de 2° C o 1,5°C. Estos escenarios requerirán una cantidad considerable de bioenergía, en particular combinada con la captura y almacenamiento de carbono (BECCS). Dedicar altos niveles de recursos forestales a la bioenergía podría tener algunos impactos negativos en las reservas totales de carbono forestal (alrededor del 1-2% menos que una vía menos intensa en biomasa), negando así algunos de los beneficios de mitigación climática asociados con sustitución de la madera por combustibles fósiles.

A pesar del aumento de las existencias forestales a nivel mundial, cuando se combina con un PIB y un PIB per cápita crecientes en general, Daigneault et. al (2019b) demostraron que las variaciones de los precios mundiales proyectados para todos los productos forestales primarios y secundarios estaban entre los obtenidos para SSP3 y SSP5.

Las altas tasas de cambio tecnológico junto con una menor presión para la roturación de terrenos forestales conducen tanto a una intensificación como a una expansión de las masas arboladas, lo que puede conducir a una mayor disponibilidad de madera a largo plazo.

Los factores discutidos anteriormente tienen un impacto directo en la superficie forestal mundial. La alta demanda de productos de madera en SSP1 y SSP5 incentiva la forestación de tierras marginales en todo el mundo, mientras que las condiciones especificadas para los otros tres SSP resultan en una disminución esperada de terrenos forestales con el tiempo.

Figura 19 Evolución 2015-2105 de los precios de madera en fabrica (\$/m3)



Daigneault et. al (2019b)

Daigneault et al (2019c) estima que la superficie forestal mundial cambiará de unos 3.500 Mha en 2015 a pérdidas de 466 Mha para 2100 en el caso del SSP3 y un aumento de 900 Mha en el SSP1. Estas estimaciones equivalen a un cambio de -0,2% a 0,3% anual. A modo de comparación, el escenario SSP2 estima una disminución de 180 Mha durante el próximo siglo, o -0,1% anual. Por lo tanto, las tierras forestales del mundo podrían diferir hasta en 1360 millones de ha para 2100, según se aproxime a una u otra SSP.

La cantidad de área forestal junto con las cortas de madera influyen en el nivel de las reservas de carbono forestal y el secuestro en un momento dado. Para todos los SSP, se estima que los bosques globales serán un sumidero neto de carbono hasta 2100, aunque podría haber hasta diez veces la diferencia en la cantidad de secuestro en función de la SSP a la que se aproxime la evolución. Por ejemplo, las masas forestales globales secuestran alrededor de 6,0 Gt CO<sub>2</sub>eq por año en 2015, pero esa cifra podría estar entre 0,5 y 5,7 Gt CO<sub>2</sub>eq anual para 2100, con SSP3 y SSP1 representando los límites de las estimaciones. Hay una clara diferencia entre los dos SSP de altos ingresos y alta demanda (SSP1 y SSP5) y las otras tres vías, que se estima que tienen menos de la mitad de la cantidad de secuestro de carbono a partir de 2050.

Para Lauri et al. (2019), el aumento de la presión por el uso de los recursos forestales en el futuro ha generado preocupación y ha producido declaraciones contradictorias sobre los impactos en el stock de carbono forestal y la capacidad de sostenibilidad (Schulze et al., 2012; Birdsey et al., 2018). Varios estudios basados en modelos de simulación forestal biofísica argumentan que la explotación provoca una pérdida temporal de stock de carbono ("deuda de carbono"), que puede volverse permanente si no se devuelve (Holtsmark, 2012; Bentsen, 2017). El tiempo de recuperación de la deuda de carbono depende del nuevo crecimiento de la biomasa aprovechada y del desarrollo del sistema de referencia. El tiempo de recuperación puede ser infinito si el stock de carbono forestal se estabiliza permanentemente a un nivel más bajo del original. Esto ocurre típicamente cuando los bosques primarios maduros se convierten en bosques gestionados (Harmon et al., 1990).

Si bien los modelos de deuda de carbono predicen que el aumento de los volúmenes de extracción tiende a disminuir el stock de carbono forestal, la evidencia empírica sobre los efectos del aumento de los volúmenes de extracción no es clara. Según la literatura empírica, la reserva mundial de carbono forestal ha aumentado en las últimas décadas a pesar del aumento de los volúmenes de extracción (Pan et al., 2011).

A nivel regional, el sumidero de carbono forestal ha ido disminuyendo en algunas regiones, especialmente en la zona tropical (Baccini et al., 2017; Pearson et al., 2017) mientras que aumentan en otras regiones (zonas boreales y templadas) (Kauppi et al., 2010; Pan et al., 2013). También existe cierta evidencia de que las reservas de carbono son menores en las áreas forestales en los que se lleva a cabo un aprovechamiento selectivo y en los bosques secundarios respecto a los bosques primarios, pero no hay mucha diferencia entre las reservas de carbono en los bosques en los que se lleva a cabo un aprovechamiento selectivo y los bosques secundarios (Ferreira et al., 2018). Finalmente, Erb et al. (2018) ha estimado que las reservas reales de carbono de los bosques son entre un 25% y un 38% más bajas que las reservas potenciales de carbono de los bosques sin actividades humanas.

Además de los modelos de simulación biofísica y las evaluaciones empíricas, el uso de los recursos forestales mundiales se ha investigado mediante modelos del sector forestal de equilibrio parcial, que agregan incentivos económicos y ajustes de mercado en el análisis (Latta et al., 2013).

Raunika et al. (2010) han estudiado las implicaciones del aumento de la demanda de bioenergía moderna utilizando el *Global Forest Products Model* (Buongiorno et al., 2003). Sus conclusiones incluyen que el aumento de los volúmenes de corta tiende a disminuir el stock de carbono forestal en la mayoría de las regiones. Por otro lado, Daigneault et al. (2012), Favero et al. (2017) y Kim et al. (2018) han estudiado los efectos del aumento de la demanda moderna de bioenergía utilizando el *Global Timber Model* (Sohngen et al., 1999). Para estos autores, el aumento de los volúmenes de corta tiende a aumentar el stock de carbono forestal en la mayoría de las regiones.

Los resultados opuestos pueden explicarse por diferentes supuestos de comportamiento de los propietarios forestales en los modelos. En modelos de optimización intertemporal, como el *Global Timber Model*, los propietarios de bosques anticipan aumentos en el volumen de extracción y comienzan a ajustar el turno y la intensidad de la gestión antes de que ocurra el aumento, lo que tiende a incrementar el stock de carbono forestal relativamente al nivel actual (Sohngen et al., 1999). En los modelos dinámicos recursivos, como el *Global Forest Products Model*, los propietarios forestales no anticipan aumentos en el volumen de corta, lo que les obliga a ajustar el turno y la intensidad de gestión cuando ocurre el aumento. Esto tiende a disminuir el stock de carbono forestal con relación al nivel actual (Sohngen et al., 1998).

Finalmente, el uso global de los recursos forestales ha sido investigado mediante modelos de uso de la tierra (Kraxner et al., 2013; Fricko et al., 2016; Doelman et al., 2018; Humpenöder et al., 2018; Daioglou et al., 2019). Los modelos de uso de la tierra suelen ser modelos dinámicos recursivos, que no consideran la gestión forestal explícitamente basado en cambios en las características intrínsecas de las masas forestales y la silvicultura aplicada: (turnos, densidades, intervenciones, etc). En su lugar, consideran los cambios en el uso del suelo. Los tipos de bosques generalmente se basan en los datos de nivel nacional de la *Global Forest Resources Assessment* (FRA) (FAO, 2015; Keenan et al., 2015) y en diferentes métodos de reducción de escala (Kindermann et al., 2008; Kraxner et al., 2017; Schulze et al., 2012).

El uso de los recursos forestales y su impacto en el stock de carbono forestal pueden controlarse mediante pagos de carbono (impuestos / subsidios) sobre los cambios en el stock de carbono

forestal (Van Kooten et al., 1995; Sohngen et al, 2003). Los modelos dinámicos recursivos de uso de la tierra suelen considerar los cambios en el stock de carbono entre tipos de cobertura terrestre, pero no entre diferentes tipos de bosques (Havlik et al., 2011; Fricko et al., 2016; Doelman et al., 2018). Esto implica que no hay costes de oportunidad de usar el área forestal para la corta y los pagos de carbono no tienen impactos directos en los volúmenes de corta. La principal razón de esta simplificación es la falta de datos a nivel mundial sobre los cambios en el stock de carbono entre los tipos de bosques.

Los pagos de carbono sobre los cambios en el stock de carbono forestal han sido estudiados en el modelo dinámico recursivo de Lecocq et al. (2011), Buongiorno et al (2013) y Nepal et al. (2013). Muestran que los pagos por carbono dan a los propietarios forestales incentivos para reservar tierras forestales para el secuestro de carbono y, en consecuencia, crean costes de oportunidad de utilizar el área forestal para el aprovechamiento forestal. Buongiorno et al (2013) muestran que el precio del carbono 30 \$/t CO<sub>2</sub> aumenta los precios mundiales de la madera en rollo industrial en un 94% y reduce los volúmenes de corta mundial en un 9% en 2030. Esto indica que la demanda de madera en rollo industrial es relativamente inelástica con respecto a los pagos de carbono a medida que aumentan los pagos.

Nabuurs et al (2018) mostró mediante simulaciones con *European Forest Scenario Model* (EFISCEN) que la UE 26 en su conjunto podría tener un aumento de aprovechamientos desde los 420 Mm<sup>3</sup>/año en el periodo 2000-2009 a 560 Mm<sup>3</sup>/año en 2050 (un aumento de un 33%). Sin embargo, esto puede significar que en algunos países las cortas puedan llegar a superar el 90% del crecimiento de la masa forestal. Si se estableciera como límite de sostenibilidad de los aprovechamientos el 90% del crecimiento, entonces las cortas anuales solo pueden aumentar hasta 493 Mm<sup>3</sup>/año en 2050 (un 17%). En ese caso el modelo indica que la ratio corta/crecimiento alcanza el 80% para el conjunto de la EU26, con valores para países individuales que oscilan entre el 56 y el 90%.

En todos los escenarios estudiados por Nabuurs et al (2018), el sumidero de carbono en la biomasa viva muestra una disminución. En un escenario de intensidad constante de aprovechamiento disminuye de los actuales 430 MtCO<sub>2</sub>/año a 298 MtCO<sub>2</sub>/año en 2030 (-30%), y eso sin asumir ningún impacto del cambio climático en la capacidad de absorción de las masas forestales.

Si los Estados miembros de la UE quieren evitar esta saturación, tendrían que implementar medidas adicionales que sin duda están permitidas por el Reglamento (UE) 2018/841<sup>1</sup> (junto a una mayor corta) en consonancia con la una selvicultura que tenga en consideración los aspectos de las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático (*Climate Smart Forestry*).

No obstante, aunque la mayoría de los Estados europeos tienen un inventario forestal nacional, que, en general, representa el estado del recurso forestal; existe una gran incertidumbre sobre las tasas reales de aprovechamiento. Camia et. al (2018), ver tabla 12 a través de un balance de recursos de madera, detecta que para la UE en su conjunto podría haber cerca de 100 Mm<sup>3</sup>/año de subestimación de aprovechamientos.

---

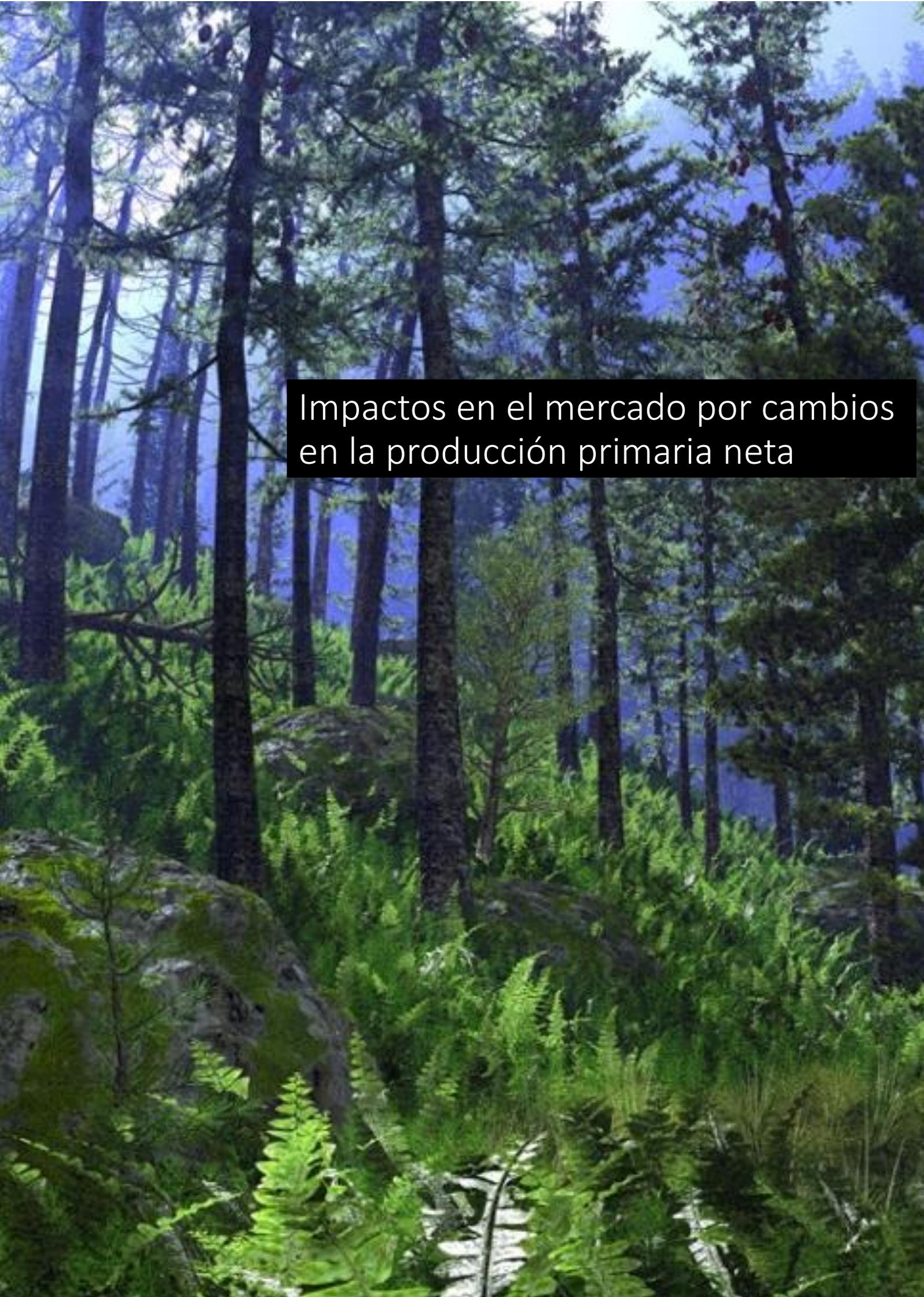
<sup>1</sup> Reglamento (UE) 2018/841 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018 sobre la inclusión de las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero resultantes del uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura en el marco de actuación en materia de clima y energía hasta 2030, y por el que se modifican el Reglamento (UE) n.o 525/2013 y la Decisión n.o 529/2013/UE

Si se implantara algún tipo de sistema de cuotas en los aprovechamientos para mantener el sumidero de biomasa forestal viva se podría llegar a sufrir algunos efectos no deseados, especialmente en los desarrollos de la bioeconomía con potencial de descarbonización por la sustitución de materiales derivados de recursos fósiles. De este modo la preocupación por no generar “deuda de carbono” podría impedir la transición hacia un futuro libre de combustibles fósiles. Además, si se implantan las “cuotas de aprovechamiento” se puede desincentivar a los propietarios forestales a invertir en sus masas forestales. Si los países asumen los niveles de aprovechamiento de referencia como una especie de sistema de cuotas es posible que se aumenten los precios de las materias primas incluso si no hay una escasez real para satisfacer la demanda.

Tabla 12 EU-28 Balance de Recursos Madereros (2013)

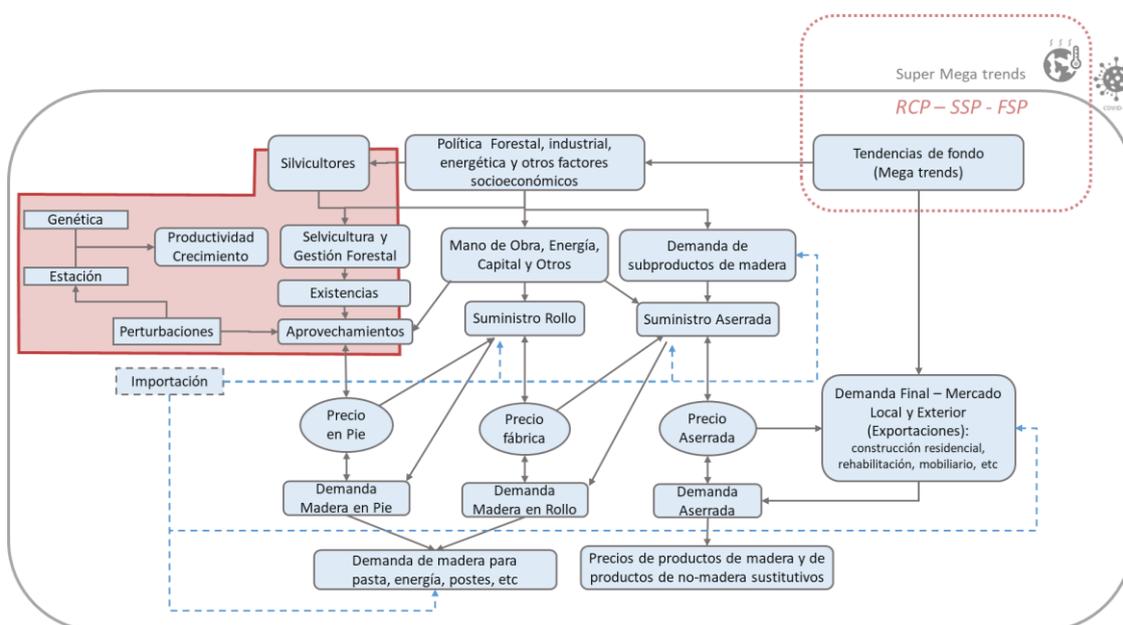
1000 m3 en rollo	Fuentes			Consumos		Balance Consumos - Fuentes
	Primarias	Secundarias	Recuperada post-consumo	Material	Energía	
Austria	29.946	13.912	1.163	30.069	23.656	8.704
Belgica	10.331	5.449	1.749	9.146	12.143	376
Bulgaria	5.889	1.056	-	3.837	s.d.	-3.108
Croacia	4.805	327	243	3.105	2.113	-157
Chipre	22	4	-	4	88	66
Rep. Checa	17.106	4.865	43	1.253	10.415	931
Dinamarca	4.142	5.458	566	1.601	10.685	212
Estonia	6.255	148	35	5.746	4.972	2.949
Finlandia	71.452	33.813	560	65.302	38.662	-1.861
Francia	59.481	11.841	5.278	32.016	46.627	2.043
Alemania	71.806	24.559	15.172	69.045	65.911	23.418
Grecia	2.231	295	18	819	2.327	601
Hungría	5.698	191	-	11	2.617	-2.171
Irlanda	3.022	1.074	356	3.037	1.688	273
Italia	12.821	8.889	3.376	1.018	56.113	41.208
Letonia	10.455	1.653	-	10.783	-	-1.325
Lituania	6.127	1.629	-	4.333	1	-3.422
Luxemburgo	579	318	69	1.098	399	532
Malta	2	2	-	-	8	5
Países Bajos	1.596	1.417	1.086	1.046	4.135	1.082
Polonia	43.401	9.049	1.121	28.659	11.134	-13.779
Portugal	13.295	8.463	206	17.346	13	-4.605
Rumania	17.863	5.891	1.868	19.553	35.295	29.226
Eslovaquia	6.434	252	37	6.595	6.556	416
Eslovenia	3.042	861	25	2.111	289	1.072
<b>España</b>	<b>173</b>	<b>7.418</b>	<b>517</b>	<b>17.354</b>	<b>12.878</b>	<b>4.995</b>
Suecia	87.334	43.222	1.839	83.835	50.514	1.955
Reino Unido	12.787	11.916	2.228	13.339	13.364	-228
<b>EU-28</b>	<b>525.222</b>	<b>207.571</b>	<b>37.556</b>	<b>453.589</b>	<b>415.203</b>	<b>98.443</b>
<b>EU-28 (Mt)</b>	<b>241,6</b>	<b>95,5</b>	<b>17,3</b>	<b>208,6</b>	<b>191,0</b>	<b>45,2</b>

Camia et al. (2018)

A photograph of a forest with tall, thin trees and a dense undergrowth of green ferns and rocks. The text is overlaid on a black rectangular background in the center of the image.

Impactos en el mercado por cambios  
en la producción primaria neta

## Impactos en el mercado por cambios en la producción primaria neta



Este apartado resume los impactos en los mercados mundiales de productos forestales de los cambios proyectados en la productividad primaria neta (NPP) debido a la acumulación de gases de efecto invernadero y el cambio climático asociado.

Las proyecciones actuales de modelos climáticos y ecológicos indican que la productividad forestal aumentará con el tiempo en algunas regiones y que el suministro mundial de madera probablemente no se verá afectado negativamente por el cambio climático y, de hecho, podría aumentar (Easterling et al. 2007, Fischlin et al. 2007). Si bien los cambios más dramáticos parecen ocurrir más adelante en el siglo, podrían ocurrir ajustes significativos en las existencias forestales dentro de los próximos 20 a 50 años (Fischlin et al. 2007).

Para el escenario SSP5 mediante el *Global Forest Products Model* (Buongiorno et al. 2003) se obtienen ganancias en NPP para todas las regiones, excepto Europa del Este, que mostró una ligera disminución (-1%). La mayor ganancia en NPP se proyectó para Estados Unidos (15%), seguido de Japón (11%), Corea / Taiwán (9%), América del Sur (8%), Canadá (7%) y África del Norte (7%). En contraste, se proyecta que Europa Occidental muestre solo un ligero aumento en la NPP (1%), 2015-2040, y América Central mostrará ganancias de NPP de menos de medio por ciento. Para otras regiones, las ganancias proyectadas en NPP variarían del 3% al 6%, 2015-2040. El aumento de la NPP promedio mundial previsto con este modelo es del 6%.

Favero et al. 2018 utilizando el *LPX-Bern global dynamic vegetation Model* para la RCP 8.5 calculó la evolución prevista para 2050 – 2250 que se resume en la tabla 13.

Tabla 13 Cambios porcentuales de Prod. Primaria Neta bajo RCP 8.5 respecto a línea base

		<b>2050</b>	<b>2100</b>	<b>2150</b>	<b>2200</b>	<b>2250</b>
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Latitudes Altas	EE.UU.	8	25	40	33	38
	Canada	16	35	56	65	66
	Europa	14	35	40	39	37
	Rusia	16	34	47	47	44
	China	9	22	27	30	33
	Oceania	15	33	37	40	33
Lat Medias y Bajas	Brasil	6	11	13	8	3
	America Central y del Sur	10	18	18	1	18
	India	17	33	33	33	35
	Asia-Pacífico	8	18	20	17	19
	Africa	9	17	17	15	14
<b>Global</b>		<b>11</b>	<b>23</b>	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>28</b>

Favero et al. 2018

Favero et al. 2018, proyectaron que el precio mundial de la madera en rollo industrial en el caso de cambio de productividad disminuirá en un 2,9% en 2040 con el SSP5, en relación con el precio proyectado en 2040 en el caso sin cambios de productividad bajo el SSP5, seguido de la madera aserrada (un 1,8%. % de disminución), tableros a base de madera (1,1% de disminución) y productos de papel (1,1% de disminución).

Los análisis sugieren que el cambio climático generalmente resultará en un aumento de la productividad forestal, que a su vez desplazará la oferta hacia el exterior, reduciendo los precios y aumentando el consumo y la producción mundial de productos forestales. Sin embargo, los resultados también sugieren que la disminución de los precios provocada por una mayor productividad global de los bosques alterará la competitividad de la producción y el comercio de los países individuales. En consecuencia, los países con mayores ventajas comparativas aumentarán su producción y exportación de productos de madera, y los países con menores ventajas comparativas harán lo contrario.

Easterling et al. (2007) prevé una expansión del suministro mundial de madera y la caída de los precios. Los productores y propietarios de tierras, por otro lado, podrían ganar o perder bienestar durante el cambio climático dependiendo de la productividad relativa versus los efectos de los precios.

Como resultado de los aumentos proyectados en la productividad de los ecosistemas forestales debido al cambio climático, varios estudios han proyectado que el cambio climático aumentará el suministro de madera a largo plazo a nivel mundial (Pérez-García et al. 1997, Sohngen et al. 2001, Pérez-García et al. 2002, Lee y Lyon 2004).

Pérez-García y col. (1997, 2002) utilizaron cambios en la productividad primaria neta o en el carbono total del ecosistema para ajustar el crecimiento anual de la madera en diferentes regiones del mundo. Debido a que los resultados ecológicos sugirieron una mayor productividad primaria neta o más carbono del ecosistema a largo plazo en la mayoría de los ecosistemas, la oferta de madera se expandió.

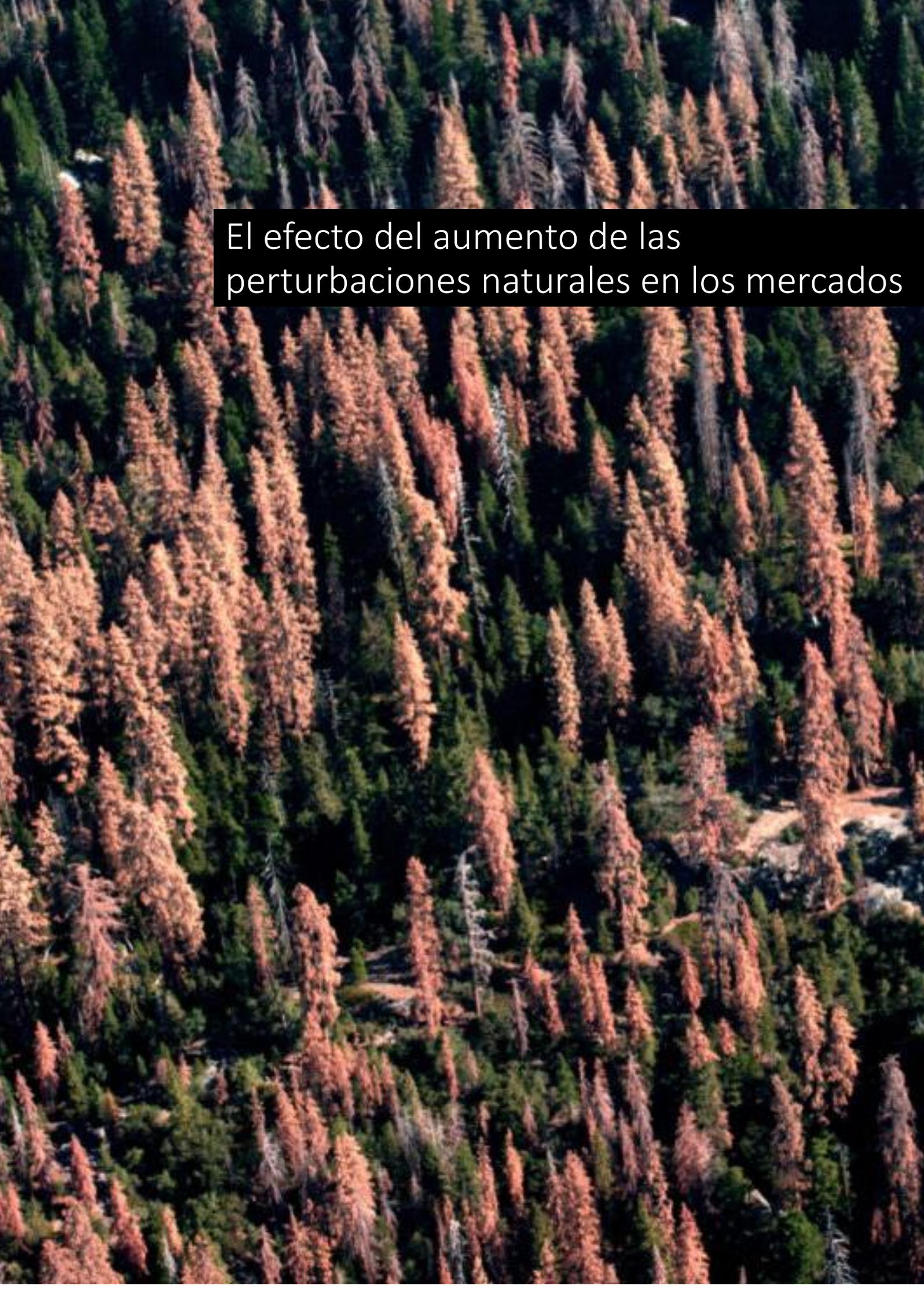
Sohngen et al. (2001) utilizaron cambios en la productividad primaria neta para ajustar el crecimiento anual también, pero también tuvieron en cuenta la perturbación y el movimiento de especies a lo largo del tiempo. Para capturar la perturbación, asumieron que cualquier cambio en el tipo de ecosistema desde la línea de base hasta el escenario climático resultó en la muerte regresiva de las especies existentes. Luego permitieron que el modelo eligiera si regenerar nuevos tipos de bosques en regiones donde ocurría la muerte regresiva. En su modelo, la oferta de madera a largo plazo se expandió porque se proyectaba que la superficie total de tierras forestales aumentaría y la productividad primaria neta en los bosques aumentó. Aunque linealizaron el ritmo de los impactos, sus resultados sugirieron que algunas regiones, como América del Norte, podrían experimentar resultados de mercado negativos, aunque se proyectaba que aumentaría la productividad a largo plazo en los bosques.

No obstante, es posible que la tasa de crecimiento de los árboles no aumente proporcionalmente con el aumento de la fotosíntesis debido a factores limitantes como la disponibilidad de nutrientes (Lindner et al 2010). El aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico induce un cierre parcial de los estomas reduciendo la pérdida de agua por transpiración. Esto da como resultado un aumento en la relación entre la ganancia de carbono y la pérdida de agua, es decir, aumenta la eficiencia del uso del agua a nivel de la hoja y del rodal completo. Además, una mayor asignación de carbono al crecimiento de las raíces puede permitir que las plantas exploten el agua del suelo en un rango de suelo más profundo y más amplio, mejorando así los efectos negativos del estrés hídrico y adaptándose mejor a un entorno con escasez de agua.

Otros cambios en el ambiente químico atmosférico que afectan el crecimiento de los árboles incluyen las concentraciones de ozono en la troposfera y el nivel del suelo, que pueden aumentar el estrés por sequía en los árboles y reducir la biomasa de los árboles en el ambiente actual en comparación con las concentraciones preindustriales. Además, la deposición de nitrógeno atmosférico es un factor importante que influye, en algunas áreas geográficas, sensiblemente en el crecimiento de los bosques y otras características de los ecosistemas durante las últimas décadas. Tanto la deposición de ozono como de nitrógeno afectan la fisiología de los árboles, el reparto del carbono y las interacciones de las plantas, lo que resulta en interacciones complejas con otros factores del cambio climático como la sequía.

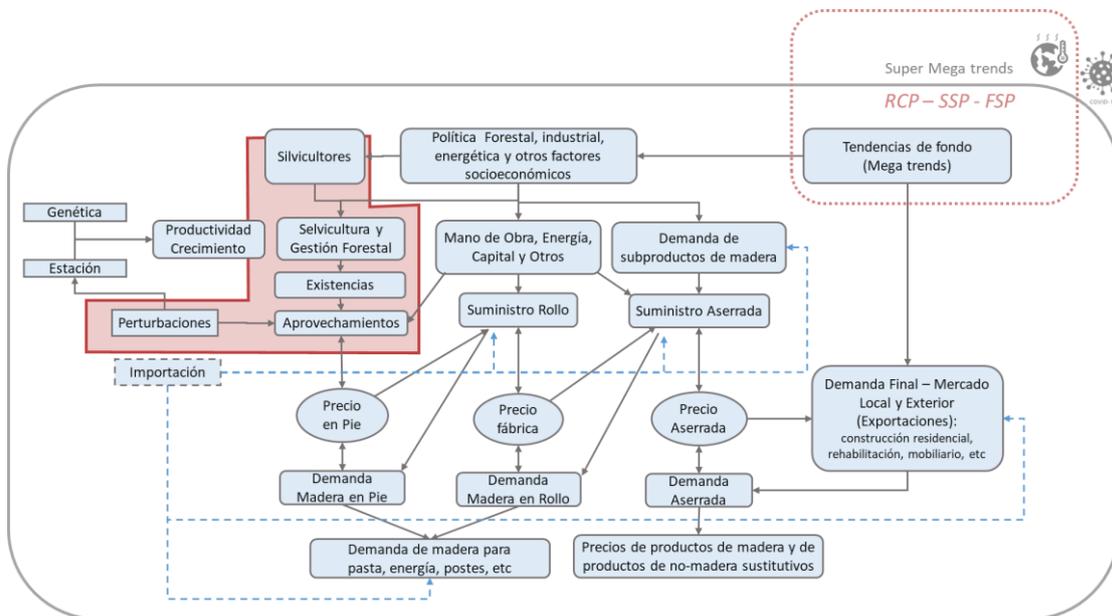
Las temperaturas más altas prolongan la temporada de crecimiento y pueden aumentar la fotosíntesis, particularmente en las latitudes del norte. Sin embargo, en otras regiones, donde la disponibilidad de agua restringe la productividad, es posible que se produzcan efectos perjudiciales, especialmente si la precipitación no aumenta o cambia a la temporada de invierno, como se proyecta, por ejemplo, para las zonas mediterráneas.

La variabilidad climática es particularmente importante en relación con los cambios en las precipitaciones, porque los eventos extremos como las sequías prolongadas tienen consecuencias mucho más drásticas en el crecimiento y la supervivencia de los árboles que los cambios graduales en las condiciones climáticas promedio. Debido a que los árboles se están adaptando obviamente a la disponibilidad de agua promedio local, los eventos extremos provocan respuestas de crecimiento en las condiciones del sitio. Se espera que la limitación de agua aumente desde las zonas templadas oceánicas a las templadas continentales y mediterráneas. En combinación con el aumento de la temperatura, esto podría provocar más sequías, especialmente en la zona mediterránea y continental templada. En estas áreas, el calor suele ser un factor de estrés. La temperatura óptima para la fotosíntesis neta rara vez supera los 30°C para las principales especies arbóreas europeas. Por lo tanto, a altas temperaturas se estimula la fotorrespiración mientras se inhibe la fotosíntesis.



El efecto del aumento de las perturbaciones naturales en los mercados

## El efecto del aumento de las perturbaciones naturales en los mercados



Las perturbaciones naturales, como incendios, ataques de insectos y temporales de viento, son una parte integral de la dinámica de los ecosistemas forestales de todo el mundo. Ocurren como eventos relativamente discretos y forman regímenes característicos de frecuencia, extensión y severidad de perturbaciones típicas en escalas espaciales y temporales extendidas. Las perturbaciones alteran la estructura, composición y función de un ecosistema, comunidad o población y pueden cambiar la disponibilidad de recursos o el entorno físico. Al hacerlo, crean heterogeneidad en el paisaje, fomentan la diversidad y, en ocasiones, inician la renovación o reorganización del ecosistema. Los principales agentes responsables de perturbación en masas forestales y sus procesos asociados se resumen en la tabla 14 y sus relaciones de retroalimentación se ilustran en la figura 20.

Los regímenes de perturbación han cambiado profundamente en muchos ecosistemas forestales en los últimos años, y el clima ha sido un importante impulsor del cambio de perturbación. Se ha documentado un aumento en la ocurrencia y severidad de las perturbaciones en gran parte del mundo, por ejemplo, por incendios, plagas de insectos y sequías (figura 21 Seidl et al., 2017). Tales alteraciones de los regímenes de perturbación tienen el potencial de impactar fuertemente la capacidad de las masas forestales para proporcionar servicios ecosistémicos a la sociedad. Además, un aumento de las perturbaciones mediado por el clima podría exceder la capacidad de recuperación ecológica de los bosques, lo que resultaría en ecosistemas alterados de forma duradera o cambios hacia ecosistemas no forestales a medida que se cruzan los puntos de inflexión. De esta manera, es probable que el cambio del régimen de perturbaciones sea uno de los impactos más profundos que tendrá el cambio climático en los ecosistemas forestales en las próximas décadas.

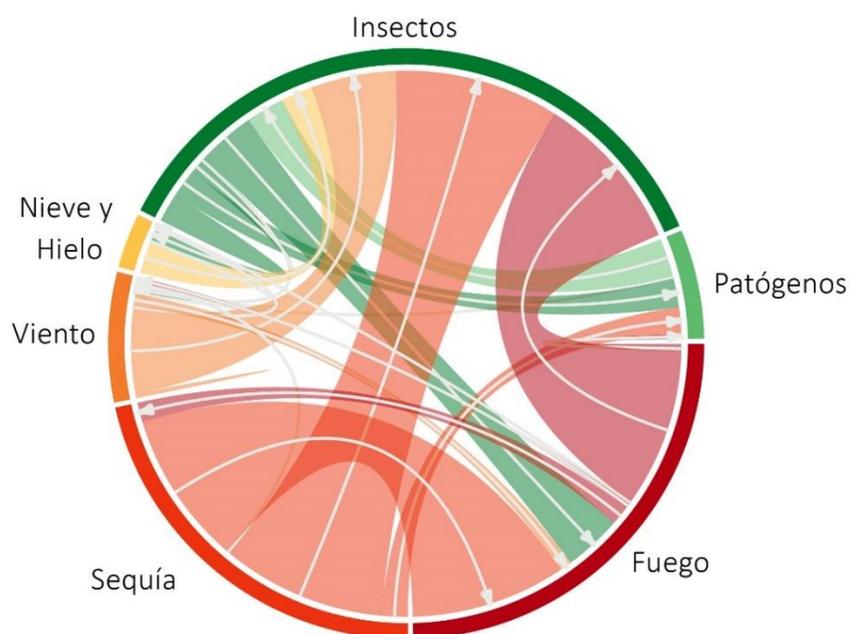
Cualquier mejora en la productividad resultante de un mayor crecimiento debido al cambio climático probablemente no podrá compensar la productividad que se perderá debido al aumento de las perturbaciones naturales. Todos estos factores combinados afectarán directamente la variabilidad del suministro de madera, los costes de mitigación y adaptación, y

la naturaleza de las respuestas de adaptación y tendrán implicaciones posteriores para las operaciones de las industrias, en términos de coste, capacidad, y ubicación.

Tabla 14 Procesos clave de la influencia climática en el régimen de perturbaciones

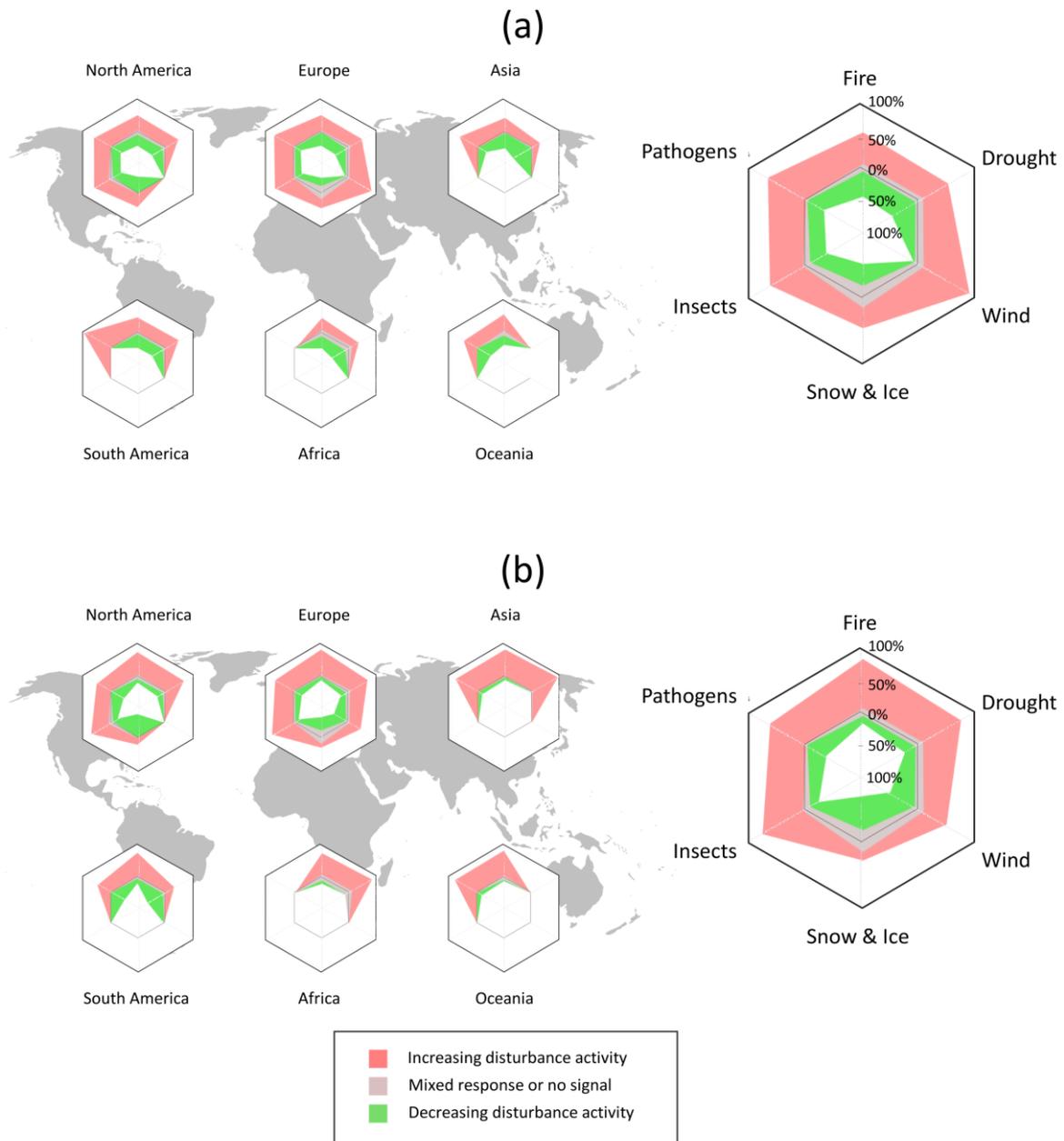
Agente	Efectos directos:	Efectos indirectos:	Efectos de interacción:
Fuego	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Humedad del combustible</li> <li>– Ignición (p.ej., actividad de rayos)</li> <li>– Propagación del fuego (p.ej., velocidad del viento)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Disponibilidad de combustible (p.ej., productividad)</li> <li>– Inflamabilidad (p.ej., composición especies)</li> <li>– Continuidad del combustible (p.ej., estructura vegetación)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Disponibilidad de combustible (p.ej., por viento o perturbación de insectos)</li> <li>– Continuidad del combustible (p.ej., caminos como cortafuegos)</li> </ul>
Sequía	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ocurrencia de limitación de agua</li> <li>– Duración de la limitación de agua</li> <li>– Intensidad del déficit hídrico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Uso del agua y eficiencia del uso del agua (p.ej., densidad de árboles y competencia)</li> <li>– Susceptibilidad al déficit hídrico (p.ej., árbol)</li> <li>– composición de especies)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Uso del agua y eficiencia del uso del agua (p.ej., cambios de densidad relacionados con los insectos)</li> <li>– Susceptibilidad al déficit de agua (p.ej., cambios en la estructura forestal mediados por incendios)</li> </ul>
Viento	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ocurrencia de vientos fuertes</li> <li>– Duración de los eventos de viento</li> <li>– Intensidad de los eventos de viento (p.ej., velocidades máximas del viento)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Anclaje de árboles (p.ej., helada del suelo)</li> <li>– Exposición al viento (p.ej., crecimiento de árboles)</li> <li>– Resistencia al viento (p.ej., composición de especies)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Exposición al viento (p.ej., las alteraciones de los insectos aumentan la rugosidad del dosel)</li> <li>– Anclaje al suelo (p.ej., los patógenos disminuyen la estabilidad de las raíces)</li> <li>– Resistencia a la rotura del vástago (p.ej., patógenos disminuyen la estabilidad)</li> </ul>
Nieve y Hielo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ocurrencia de nieve</li> <li>– Duración de la nieve</li> <li>– Aparición de cencellada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Exposición de la masa a la nieve</li> <li>– Riesgo de avalancha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Riesgo de avalancha (p.ej., a través de la formación de claros por mortalidad por patógenos)</li> </ul>
Insectos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tasa metabólica del agente (p.ej., reproducción)</li> <li>– Comportamiento del agente (p.ej., consumo)</li> <li>– Supervivencia del agente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Distribución y rango de host</li> <li>– Sincronización agente-host (p.ej., budburst)</li> <li>– Defensa del huésped (p.ej., reservas de carbohidratos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Presencia y abundancia de hospedadores</li> <li>– Resistencia y defensa del huésped (p.ej., a través de cambios en la sequía)</li> </ul>
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tasa metabólica del agente (p.ej., respiración)</li> <li>– Abundancia de agentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Abundancia y diversidad de acogida</li> <li>– Defensa del anfitrión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Interacción de agentes y asincronía</li> <li>– Dispersión de agentes (p.ej., a través de insectos vectores)</li> </ul>

Figura 20 Interacciones entre agentes responsables de perturbaciones en masas forestales



Seidl et al., 2017.

Figura 21 Perturbaciones globales por cambios de temperatura y disponibilidad de agua.



Perturbaciones globales en respuesta a los cambios de temperatura y disponibilidad de agua (a) cálidas y más húmedas y (b) más cálidas y más secas. Las superficies de radar indican la distribución de la evidencia (% de las observaciones de un conjunto de 674 publicaciones científicas llevado a cabo por Seidl et al., 2017).

Favero, et al 2018 llevaron a cabo una prospección hasta 2250, utilizando el escenario de RCP 8.5 y el modelo climático HadGEM2. De esto modo exploraron los impactos de un escenario climático severo que alcanza los 11°C. En la Tabla 14 se resume para las distintas regiones la tasa de mortalidad esperada bajo ese escenario “catastrófico”.

Tabla 15 Tasa de mortalidad (%) de las masas forestales bajo RCP 8.5

		<b>2050</b> (%)	<b>2100</b> (%)	<b>2150</b> (%)	<b>2200</b> (%)	<b>2250</b> (%)
Latitudes Altas	EE.UU.	0.9	0.9	0.8	0.7	0.5
	Canada	0.8	0.8	0.5	0.3	0.3
	Europa	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4
	Rusia	0.8	0.8	0.6	0.4	0.3
	China	0.5	0.6	0.5	0.6	0.9
	Oceania	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2
Lat Medias y Bajas	Brasil	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
	America Central y del Sur	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5
	India	0.3	1.0	1.2	1.2	1.2
	Asia-Pacífico	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	Africa	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5
<b>Global</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	

Favero et al. 2018

Las consecuencias de las perturbaciones para ciertas especies variarán según las regiones geográficas y el alcance del cambio climático. Se esperan respuestas positivas de las poblaciones de insectos, como una mayor tasa de desarrollo, una mayor probabilidad de supervivencia y potencial reproductivo y en otros casos, efectos negativos como una menor tasa de crecimiento y una menor fecundidad. El cambio climático afectará la frecuencia de los brotes de plagas y la progresión de los patógenos fúngicos, y puede no solo promover cambios y expansiones, sino también contracciones de los rangos de distribución para varias especies de herbívoros y patógenos. (Lindner 2010)

Los cambios en los regímenes de perturbación, como cambios en los incendios forestales, daños por tormentas y vientos severos, efecto de enfermedades o plagas que conducen a mortalidades en áreas extensas, pueden tener efectos más inmediatos en los mercados que los cambios en rendimientos forestales. Si la mortalidad y la alteración de los bosques ocurren en zonas forestales gestionadas, las pérdidas de las existencias de árboles existentes podrían tener un impacto inmediato en los mercados. La gama completa de impactos económicos dependerá de cuán extenso sea el daño al arbolado y cuánto se pueda recuperar.

Las perturbaciones tienden a crear efectos a corto plazo, principalmente subnacionales o nacionales, aunque en función de su magnitud también pueden ser internacionales, en los mercados de productos forestales. Estos efectos incluyen excedentes de salvamento a corto plazo, ya que una parte de la madera muerta y dañada sale al mercado en grandes volúmenes, lo que hace bajar los precios. A medio y largo plazo, las reducciones de existencias, disminuyen la producción media anual esperada de la zona afectada durante décadas y pueden producirse aumentos de precios (Prestemon y Holmes 2008) o, en casos extremos, problemas de aprovisionamiento de industrias basadas en el recurso local que conlleven cierres o deslocalizaciones.

Las grandes catástrofes naturales en las masas forestales suponen verdaderos terremotos para los mercados de la madera; sobre todo cuando son virtualmente imprevisibles. Los gobiernos y administraciones públicas suelen tener que intervenir después de las catástrofes para ayudar a mitigar sus efectos económicos y sociales. Sin embargo, hay relativamente pocas investigaciones acerca de si los beneficios agregados gracias a tales intervenciones superan el coste agregado de las mismas. La acción más frecuente que gobiernos, empresas y propietarios forestales toman para reducir el impacto de los eventos catastróficos es proceder al aprovechamiento de la madera dañada y a la recuperación de parte del valor de la misma. Además, esta medida contribuiría a provocar potenciales daños secundarios a los recursos vecinos y los valores asociados, especialmente mediante la aparición de plagas o enfermedades.

En ausencia de asistencia pública para facilitar estas labores de salvamento, el mercado puede no ser capaz de recuperar un valor socialmente óptimo a partir de la madera dañada debido a las limitaciones en la movilidad de mano de obra y capital, agravadas por la premura tiempo obligada por la propia naturaleza de las actividades de salvamento. Los gobiernos pueden aplicar distintos instrumentos para intentar reducir el impacto de los daños sobre el mercado. En términos generales, estos incluyen la aplicación de bienes o servicios públicos, incentivos fiscales, ayudas y subsidios directos para salvamento y sanciones para los casos de no actuación que puedan derivar en daños a terceros. Los bienes y servicios públicos que los gobiernos podrían ofrecer al sector privado incluyen la construcción o reparación de infraestructuras, la cesión de terrenos para almacenamiento, cambios regulatorios que afecten a transporte, ofrecer servicios de planificación, organización e intermediación a propietarios privados.

Las investigaciones desarrolladas en los Estados Unidos muestran que, por ejemplo, incluso los huracanes más dañinos tienen efectos, aunque espacialmente limitados, temporalmente duraderos sobre la producción, el consumo, los precios y el bienestar económico (Prestemon y Holmes 2000, 2004). Los estudios de simulación sobre los efectos del mercado de la madera relacionados con los incendios forestales indican efectos significativos tanto en las existencias de madera como en los mercados de productos (Prestemon et al. 2006). Se ha demostrado que estudios similares de los efectos de la plaga del *bark beetle* tienen impactos regionales similares a los de los huracanes (Holmes 1991, Schwab et al. 2009).

Corbett et al. (2016), por otro lado, estimaron una pérdida de bienestar económico a largo plazo de 90 mil millones de dólares en la economía provincial de Columbia Británica como resultado del *Mountain pine beetle* al considerar sus efectos encadenados en todos los sectores económicos.

Holmes (1991) examinó los impactos económicos de la plaga de *Dendroctonus frontalis* en el sur de los Estados Unidos, e indicó que las cortas sanitarias generaron pérdidas tanto a los propietarios de rodales dañados como a aquellos propietarios de rodales no afectados. Esto fue debido a los efectos en los precios resultantes del aumento de la oferta de madera en rollo. A largo plazo, los precios de la madera aumentan debido al aumento de la escasez de madera (Prestemon y Holmes 2000), lo que beneficia principalmente a los propietarios de existencias no dañadas que puedan esperar a ese momento.

Murray y Wear (1998) y Wear y Murray (2004) abordaron el tema de la interconexión entre las regiones de suministro de madera y los mercados de madera dentro de América del Norte continental. En ambos documentos, los autores examinaron el impacto de la disminución del suministro de madera de las tierras federales de los EE.UU. En el noroeste del Pacífico sobre la extracción de madera y los mercados de madera en todas las regiones. Encontraron evidencia

de que los mercados de madera están interconectados y que un cambio en el suministro de madera en una región afecta los precios de la madera en todos los mercados regionales.

Las perturbaciones que generan madera disponible para su comercialización y que, al reducir las existencias de madera, tienen efectos a largo plazo sobre el suministro de madera, son, hasta cierto punto, aleatorias tanto en el espacio como en el tiempo. Esta aleatoriedad obstaculiza la planificación de la gestión forestal (Kurz et al., 2008; Lindroth et al., 2009) así como proyecciones a largo plazo de sus efectos sobre las variables de mercado futuras, y los efectos de mercado de las perturbaciones no aparecen recogidos en los resultados de los modelos del mercado de los productos forestales.

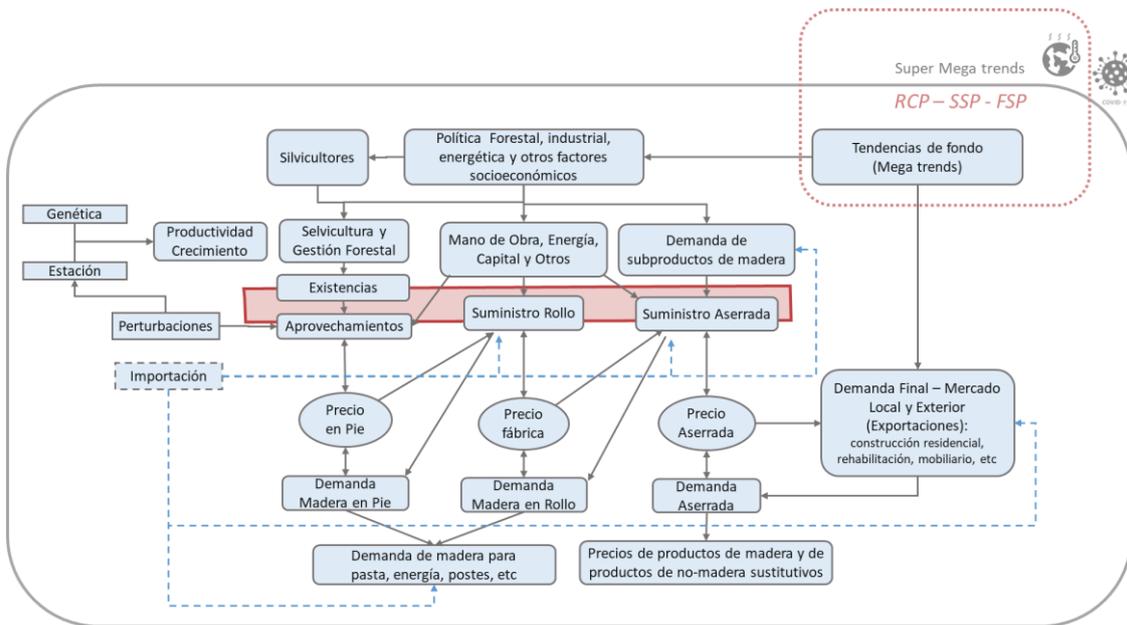
Pese a ello, existe un cierto consenso acerca de cuáles podrán ser los efectos de este previsto régimen de perturbaciones aumentado en el mercado de productos forestales durante los próximos 25 años:

- (i) los mercados recibirán una participación variable en el tiempo de madera en rollo de las actividades de salvamento;
- (ii) dicho rescate tenderá a reducir los precios de la madera en rollo de una manera opuesta a las cantidades que lleguen al mercado, generando efectos principalmente locales y nacionales, aunque llegando en casos a afectar internacionalmente;
- (iii) los impactos de las perturbaciones en la mortalidad, cuando sean de gran magnitud en relación con las existencias totales, conducirán a aumentos de precios a más largo plazo;
- (iv) aunque los efectos de tales perturbaciones en los recursos forestales a escalas nacional y subnacional podrían duraderos, los que lleguen a afectar a escala internacional serán mucho más efímeros.

A close-up photograph of a cross-section of an oak log. The wood shows distinct concentric growth rings, with a darker outer ring and a lighter inner ring. The bark is dark and rough. The background is a clear blue sky with some blurred tree branches.

## Impactos del cambio climático en la calidad de la madera

## Impactos del cambio climático en la calidad de la madera



La mayor parte de la madera que se aprovechará en muchas partes del mundo durante los próximos 50 a 100 años provendrá de árboles que ya están creciendo o de aquellos que se plantarán en la próxima década, con una consideración mínima de los impactos del cambio climático. Las tecnologías de fabricación actuales de productos de madera pueden no ser óptimas dados los cambios en el suministro de madera que se esperan en el futuro. A largo plazo, los cambios en la productividad y la mezcla de especies afectarán al procesado de la madera al afectar al turno, las especies, la calidad de la madera o el tamaño de las trozas.

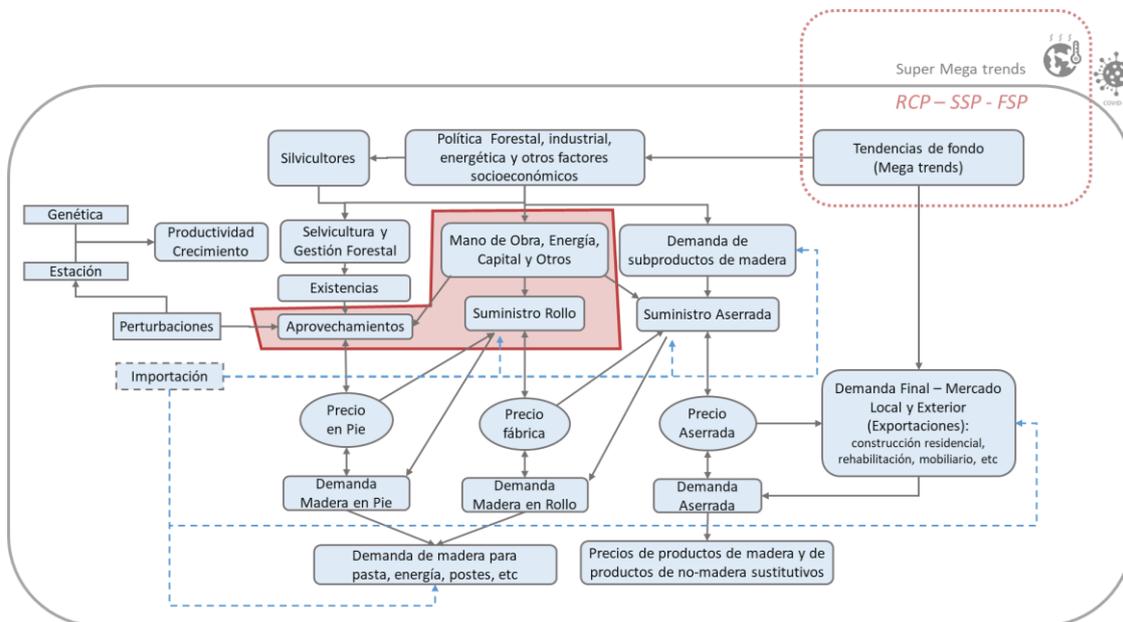
Los cambios en la productividad forestal se manifiestan en cambios de crecimiento radial que determinan en gran medida la calidad de la madera. La calidad de la madera resume las propiedades físicas y químicas de la madera (Mitchell, 1961). Aunque ambos se ven afectados en gran medida por factores ambientales, la investigación se ha centrado principalmente en los impactos en el componente físico que determina el uso de la madera (Pretzsch et al. 2016). Las propiedades de la madera, como la resistencia y la rigidez, cambian con la densidad de la madera, que está fuertemente influenciada por las variables climáticas (Zhu et al., 2015). Tratar la densidad de la madera como un factor estable puede llevar a una sobreestimación o subestimación cuando se trata del cálculo del potencial de almacenamiento de carbono de los bosques (Vanoppen et al., 2018).

Si bien, parece que el crecimiento del volumen de madera se ha acelerado en Europa Central durante el último siglo, la densidad de la madera disminuyó (Pretzsch et al., 2018). Las condiciones cálidas de la primavera llevaron a un aumento de las proporciones de madera de primavera en la formación de anillos de árboles. La madera de primavera se caracteriza por células de mayor diámetro y menor espesor de pared, lo que, con su abundancia, reduce la densidad general de la madera (Björklund et al. 2017). Una menor densidad de madera puede reducir la estabilidad mecánica, lo que aumenta el riesgo de nieve (Peltola et al., 1999) y daños por viento (Meyer et al., 2008). El estrés hídrico, por otro lado, tiene un efecto negativo en el crecimiento radial de los árboles. Por lo tanto, el aumento de la sequía puede conducir a patrones heterogéneos de anillos de árboles. Se espera que la homogeneidad decreciente y las tendencias observadas en la densidad de la madera causen problemas para muchos usos, como la construcción y el mobiliario (Lachenbruch et al., 2010).



Impactos del cambio climático en las condiciones de los aprovechamientos

## Impactos del cambio climático en las condiciones de los aprovechamientos



Las operaciones de aprovechamiento en bosques boreales y templados se llevan a cabo históricamente durante el invierno por varias razones. La mayor capacidad de carga de los suelos congelados da como resultado una mayor eficiencia de las máquinas forestales y una reducción del daño y el riesgo del suelo para los trabajadores forestales. En países como Finlandia se calcula que el 60% de los aprovechamientos se llevan a cabo con el suelo helado (Lehtonen et al. 2019)

Las masas forestales sobre truberas y los sitios húmedos con suelos profundos y arcillosos son especialmente vulnerables al daño del suelo. El daño al suelo puede causar pérdidas de productividad (Toivio et al., 2017) y cambios en la composición de especies y el funcionamiento de los ecosistemas forestales.

A medida que aumentan las temperaturas invernales, las condiciones de corta empeoran, debido a la reducción de días con suelos congelados (Rittenhouse 2015). Como consecuencia, las operaciones de aprovechamiento en tipos de suelo vulnerables podrían volverse impracticables, con consecuencias potencialmente graves para la producción de madera.

Lethonen et al. (2019) plantean preocupaciones sobre la viabilidad de muchos aprovechamientos forestales que pueden no realizarse debido al acortamiento de las condiciones del suelo congelado. Su trabajo pronostica que la temporada de aprovechamiento invernal se acorte en aproximadamente 1 mes para el período 2021-2050. No hay grandes diferencias en este resultado si se considera RCP4.5 o RCP8.5. Para el período 2070-2099, el acortamiento previsto de la temporada de aprovechamiento forestal invernal es claramente más pronunciado. Además, la diferencia en la magnitud del cambio entre los dos escenarios de forzamiento aumenta. Si se cumple el escenario de altas emisiones RCP8.5, la temporada donde el suelo helado permita el aprovechamiento puede acortarse en más de 3 meses en gran parte del país.

Un estudio realizado en Wisconsin, EE. UU. (Rittenhouse, 2015), achacó a este motivo los cambios en la proporción de especies forestales aprovechadas en invierno, incrementándose el pino y disminuyendo las frondosas y otras especies de coníferas. Estas masas de pino frecuentemente vegetan en suelos arenosos, que generalmente tienen una alta capacidad de carga, lo que permite realizar aprovechamientos con el suelo no congelado. La proporción de especies arbóreas que generalmente crecen en suelos con mayor vulnerabilidad.

En el suroeste de Alemania, la aplicación de gestión forestal adaptativa, sobre todo en montes públicos, ha ido dando lugar a un aumento de las frondosas en detrimento del abeto rojo (*Picea abies*). Esta transición, tiene consecuencias a la hora de los aprovechamientos. Si bien los aprovechamientos de abeto rojo, en masas regulares, se aprovechan con sistemas de aprovechamiento totalmente mecanizados durante todo el año, los bosques irregulares de frondosas siguen dependiendo mayoritariamente del apeo manual a motor y la saca con cable durante el invierno (Berendt, et al. 2017).

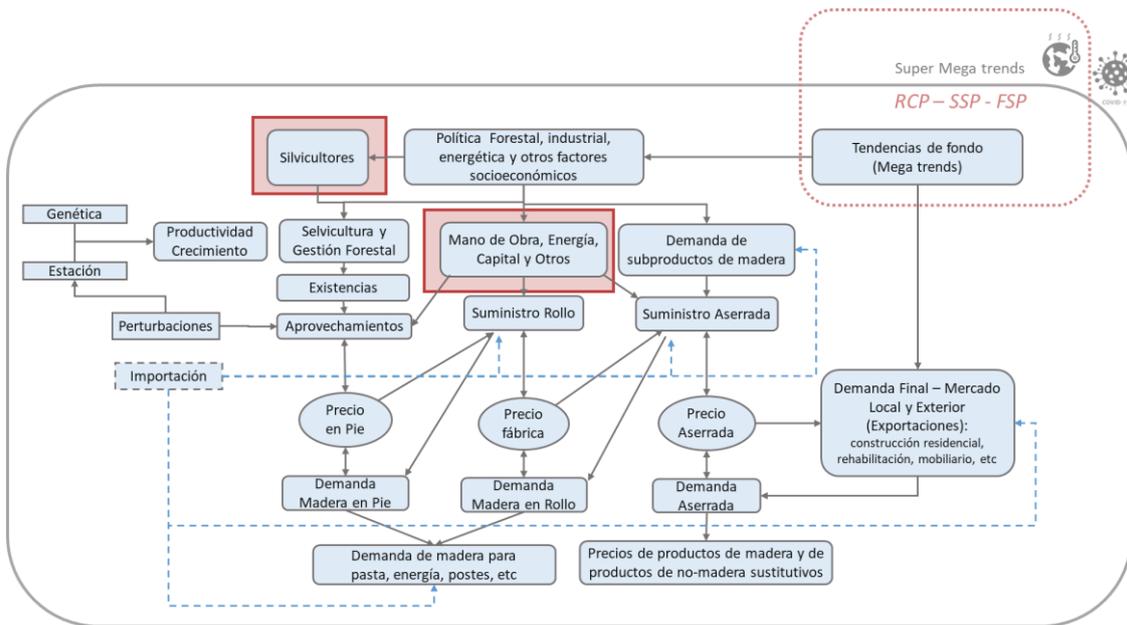
Los cambios en las condiciones invernales como resultado del cambio climático pueden generar una serie de problemas en cascada para los aprovechamientos forestales, para movilizar madera durante todo el año y para mantener una demanda constante de mano de obra.

Aunque los gestores forestales quisieran concentrar las operaciones de recolección hacia el verano o en lugares con suelos y especies favorables, esto no siempre va a ser posible. Por ello, los aprovechamientos en muchos países de vegetación boreal se ven cada vez más limitados por una ventana de invierno cada vez más reducida. Por lo tanto, las operaciones forestales se están volviendo más estacionales y las actividades de corta son cada vez más variables a lo largo del año, lo que limita las oportunidades de empleo para los trabajadores forestales, crea desafíos logísticos en las instalaciones de procesamiento de madera que dependen de un suministro estable de madera en rollo y limita las oportunidades para realizar operaciones selvícolas como claras o clareos.

# Impactos del cambio climático sobre el capital humano



## Impactos del cambio climático sobre el capital humano



Los sistemas físicos, incluidos los fisiológicos, los creados por el hombre y los ecológicos, han evolucionado o han sido diseñados para operar dentro de ciertos parámetros climáticos. Por lo tanto, incluso pequeños cambios pueden tener un impacto significativo si se superan los umbrales físicos de resiliencia. El riesgo inherente es alto cuando las regiones ya están cerca de los umbrales sistémicos de las amenazas climáticas.

Los médicos y profesionales de la salud ocupacional sugieren que temperaturas y humedades más altas tendrán una influencia sustancial en la salud ocupacional y la productividad de los trabajadores. Con una mayor temperatura y un aumento de la humedad provocado por el cambio climático, los trabajadores no solo son más susceptibles a las enfermedades, sino que también son más propensos a errores y accidentes debido a la disminución de la concentración que conduce a una disminución de la productividad.

El cuerpo humano debe mantener una temperatura interna relativamente estable de aproximadamente 37°C para funcionar correctamente. La temperatura corporal necesita subir solo +0,2°C para comprometer la capacidad de realizar múltiples tareas, +0,9°C para comprometer la coordinación neuromuscular, +1,3°C para afectar el desempeño mental simple, +3°C para inducir un golpe de calor peligroso y 5°C para causar la muerte.

En ambientes donde la temperatura del aire es ligeramente inferior a la temperatura corporal, el cuerpo pierde su capacidad para disipar el calor a través de la radiación y la convección, y en función de la humedad relativa, a través de la evaporación del sudor.

A una temperatura de bulbo húmedo de 35 grados Celsius, los seres humanos sanos y bien hidratados que descansan a la sombra verían aumentar la temperatura corporal a niveles letales después de aproximadamente cuatro o cinco horas de exposición. Como se aprecia en la figura 22, la capacidad de trabajo se vería afectada a temperaturas de bulbo húmedo muy por debajo ese valor.

Según McKinsey Global Institute (2020), bajo el escenario RCP 8.5, en países cálidos y más húmedos la pérdida de capacidad de trabajo al exterior puede aumentar en un 10% o 15% las horas de trabajo al aire libre efectivas perdidas por el calor y la humedad extremos entre hoy y 2050 en los países de este grupo. Incluso, en países fuera de las líneas de 30º de latitud norte y sur se estima un aumento promedio de medio punto porcentual en horas de trabajo al aire libre efectivas perdidas (figuras 23 y 24).

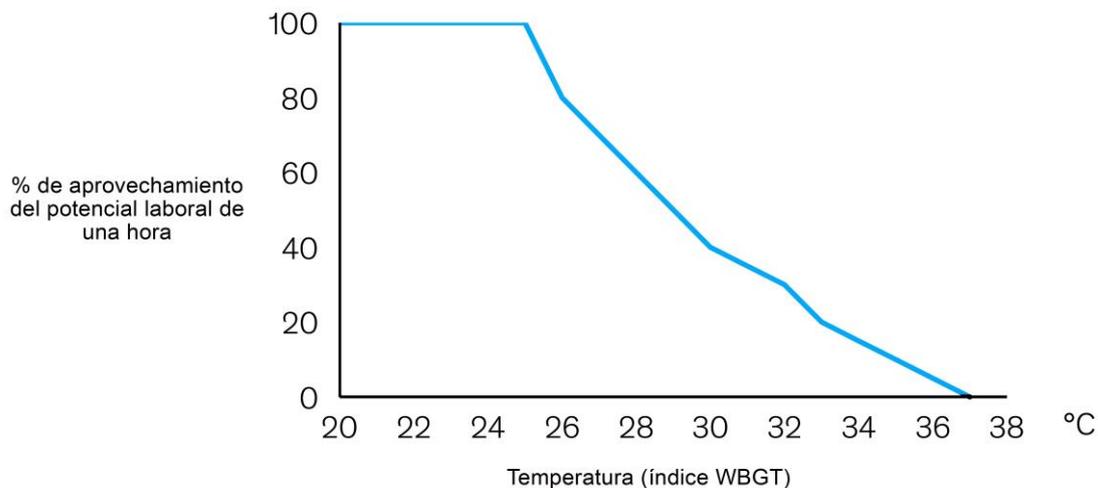
Por ejemplo, algunas partes de la India están cerca de cruzar los umbrales de temperatura que pueden hacer que el trabajo al aire libre sea extremadamente complicado por largos periodos. Las consecuencias económicas de ello pueden ser enormes. En 2017, el trabajo al aire libre produjo alrededor del 50 por ciento del PIB, impulsó alrededor del 30 por ciento del crecimiento del PIB y empleó a alrededor del 75 por ciento de la fuerza laboral, unos 380 millones de personas. Knittel et al. 2020 calcula que para 2050 esto provocará un descenso del -7,91% del PIB para la India.

Las consecuencias de este descenso estructural de horas trabajadas, no queda circunscrita meramente al país que lo sufre. Por el contrario, la repercusión altera los flujos comerciales y transmite sus efectos económicos al resto de países. Según Knittel et al. 2020 los descensos del rendimiento de la mano de obra por aumento de temperaturas en distintas partes del globo ocasionarán en 2050 un descenso del -0,12% del PIB en Alemania y un -0.29% de descenso del PIB para el conjunto de la UE

Además, el flujo comercial también se verá afectado y Knittel et al. 2020 calcula, para el caso alemán, que las importaciones totales disminuyen (las importaciones de fuera de UE se reducen y se compensan hasta en un 38% con las importaciones de los países UE). En segundo lugar, las exportaciones totales aumentan ligeramente (las reducciones a países no-UE se compensan en exceso por aumento del 160% en las exportaciones a la UE).

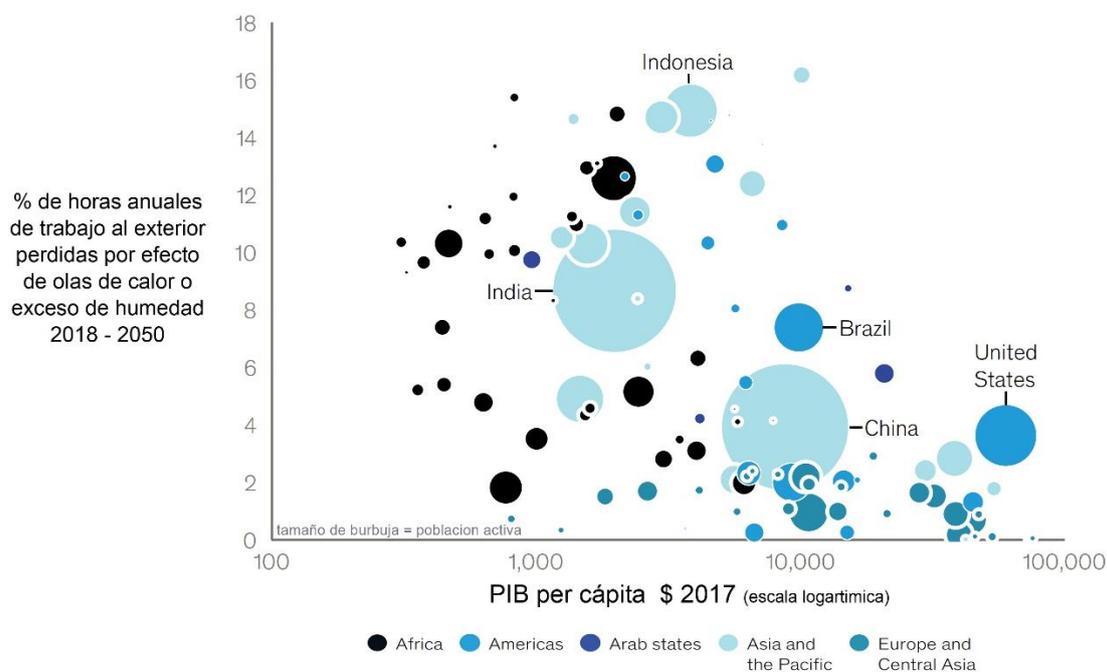
Al igual que hay marcada diferencias entre regiones geográficas, hay también marcadas diferencias entre sectores. Aquellos más impactados serán aquellos en los que trabajos al aire libre con esfuerzo físico tengan más presencia. En el sector forestal, sobre todo en la selvicultura y aprovechamientos forestales, pese al aumento de la mecanización en los últimos años, se cumplen claramente ambas circunstancias. Aunque el trabajo en instalaciones industriales pueda incorporar medidas correctoras, todo lo relacionado con el aprovisionamiento de materias primas será susceptible de ser afectado.

Figura 22 Disminución del potencial laboral con la temperatura



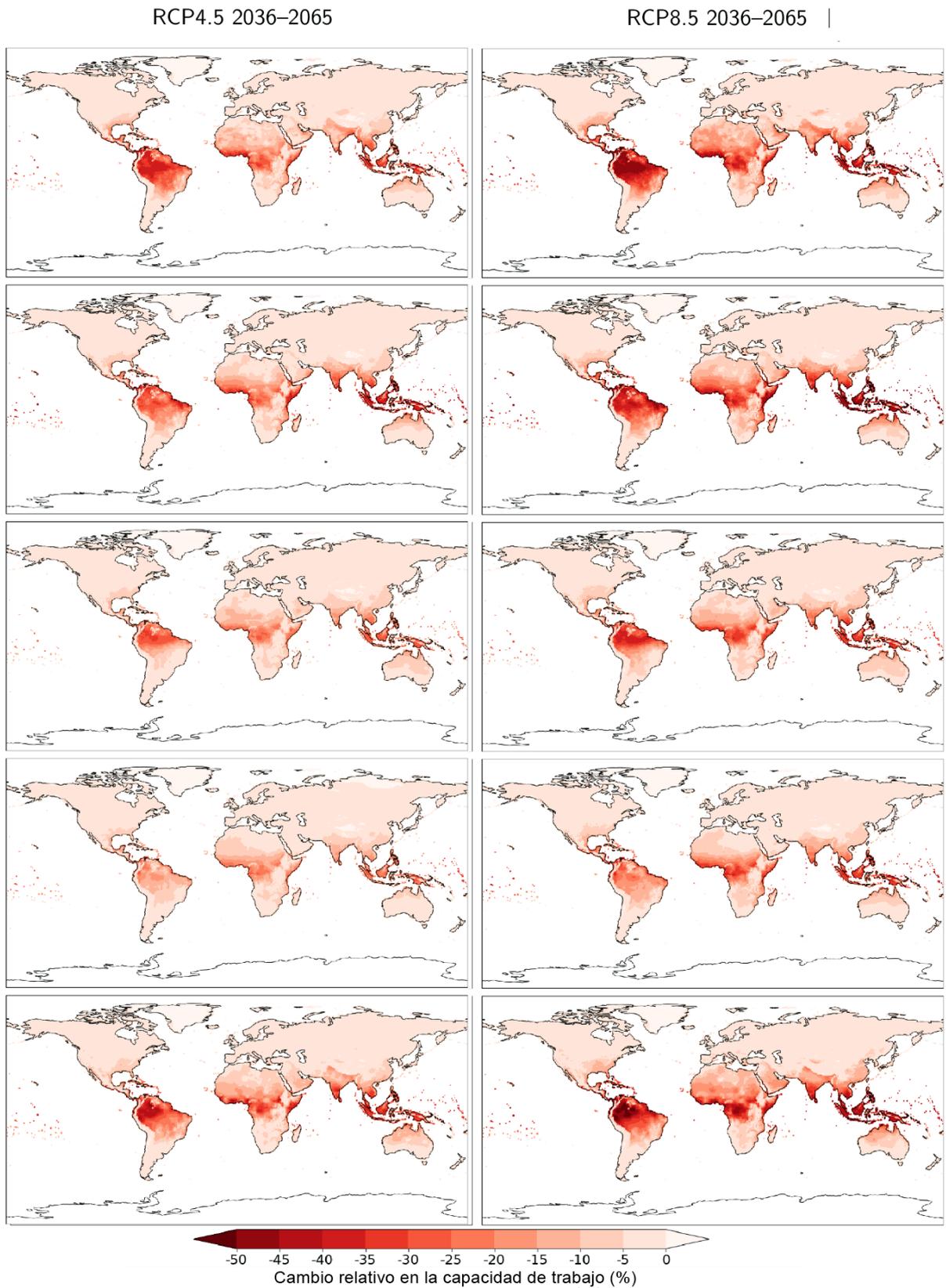
El índice WBGT es una medida de la temperatura aparente que estima el efecto de la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la radiación visible e infrarroja en humanos. McKinsey Global Institute, 2020

Figura 23 Estimación de pérdida de trabajo al exterior por países hasta 2050



McKinsey Global Institute, 2020

Figura 24 Distribución geográfica de los cambios en las horas de trabajo efectivo (%) para el periodo 2036-65 y las RCP 4.5 y RCP 8.5

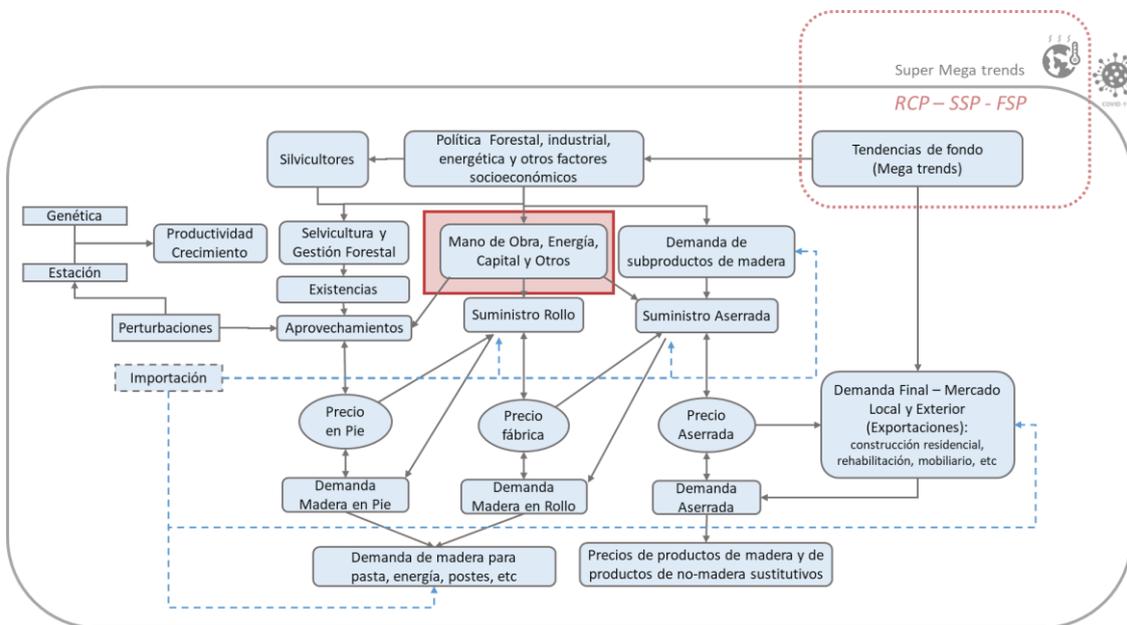


Knittel et al. 2020

# Impacto del cambio climático en las instalaciones y equipamientos



## Impacto del cambio climático en las instalaciones y equipamientos.



Los activos materiales de las industrias forestales pueden verse destruidos o significativamente afectados por una serie de efectos del cambio climático como inundaciones, incendios forestales, huracanes, etc. Además, las infraestructuras críticas pueden verse interrumpidas o deterioradas por los mismos motivos. Vías de transporte de mercancías (Carreteras o ferroviarias), de transporte de energía líneas eléctricas, gasoductos, pero también instalaciones de abastecimiento de agua, depuración o tratamiento de residuos pueden recibir daños críticos y verse afectadas, grave y permanentemente, en su funcionalidad.

Se espera, por ejemplo, que el crecimiento del daño al capital estadísticamente esperado por las inundaciones fluviales aumente radicalmente, de situarse en el entorno de 35 mil millones de dólares anuales en la actualidad a llegar a suponer cerca de 60 mil millones de dólares (1,7 veces más) para para 2030 y 140 mil millones (cuatro veces más) para 2050 (McKinsey Global Institute, 2020). Además, los impactos podrían ser significativamente más altos de lo que sugieren estas cifras, dependiendo de la forma específica de capital afectado, como la infraestructura (figura 25).

Por otra parte, estos resultados indican tendencias estadísticas promedio y los impactos podrían ser significativamente mayores en un año dado si se manifiestan irregularmente y su distribución es de "larga cola", es decir, hay evento muy poco probable que pueden causar grandísimo nivel destructivo.

Por ejemplo, un análisis realizado por el Centro de Estudios de Riesgo de Cambridge encontró que el daño causado por un huracán con riesgo de cola en el este de los Estados Unidos podría ser de más de 1 billón de dólares. Dicha entidad clasifica un evento de huracán de cola como un evento de probabilidad 1 en 200 años, pero sus daños necesitarían mucho tiempo en recuperarse y el consumo personal de las zonas afectadas se podría reducir al 83% en el primer trimestre después del desastre.

Figura 25 Evolución de pérdidas por catástrofes naturales 1970-2017

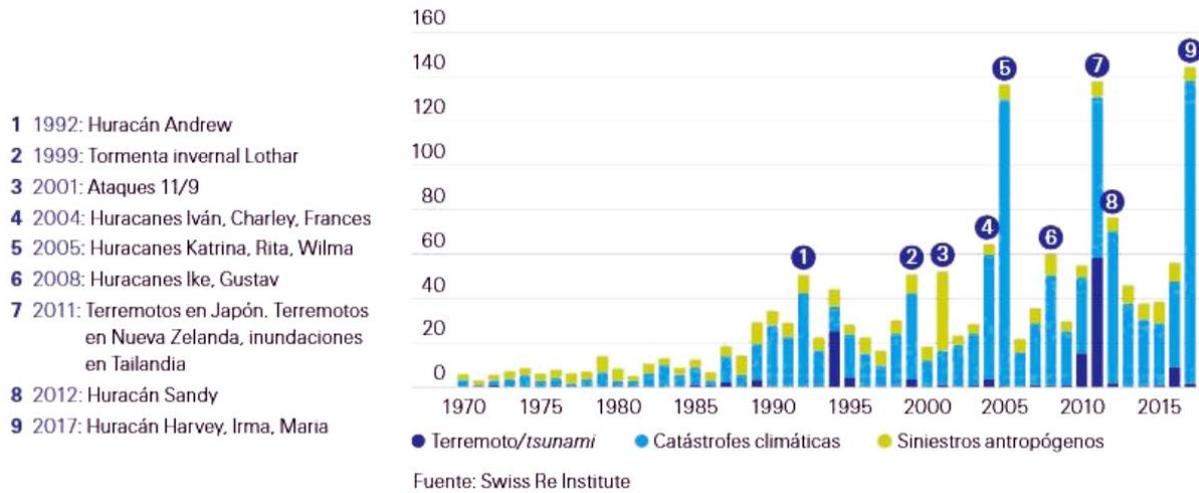
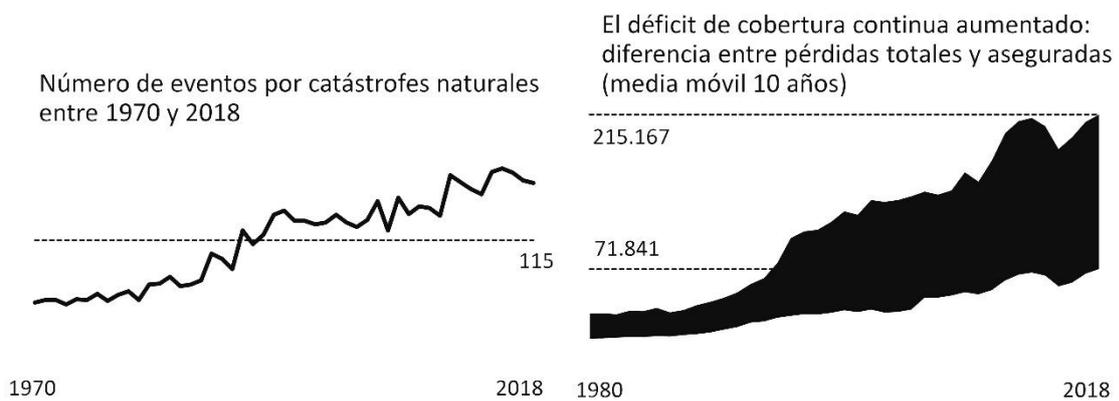


Figura 26 Evolución del número de catástrofes naturales y su cobertura de seguros



El agravamiento de la situación en la última década ha llevado a que algunos bancos centrales y otras autoridades supervisoras han comenzado a considerar el cambio climático como un riesgo grave para la estabilidad financiera.

Los sistemas económicos y financieros, históricamente, se han diseñado y optimizado para un cierto nivel de riesgo y el aumento de los peligros puede significar que dichos sistemas son vulnerables. Ya hemos notado que las cadenas de suministro a menudo están diseñadas para ser más eficientes que resilientes, al concentrar la producción en ciertas ubicaciones y mantener bajos niveles de inventario.

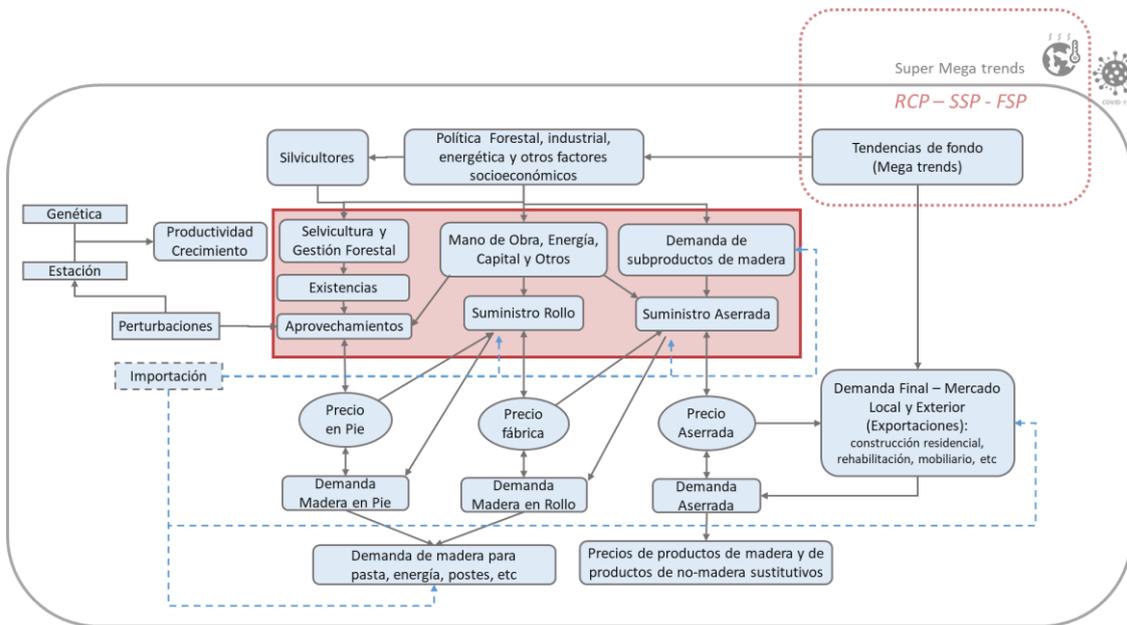
Los mercados financieros podrían adelantar el reconocimiento de riesgos en las regiones afectadas, con consecuencias para la asignación de capital y los seguros. Una mayor comprensión del riesgo climático podría hacer que los préstamos a largo plazo no estén disponibles, afectar el coste y la disponibilidad del seguro y reducir los valores terminales. Esto podría desencadenar la reasignación de capital y la modificación de precios de los activos.

Por lo tanto, los crecientes peligros climáticos podrían hacer que tales sistemas fallen, por ejemplo, si los centros de producción clave se ven afectados. Las finanzas y los seguros también tienen vulnerabilidades; si bien fueron diseñados para manejar cierto nivel de riesgo, la intensificación de los peligros climáticos podría extender sus límites.

A large industrial warehouse filled with stacks of lumber. The lumber is organized into neat piles on yellow metal shelving units. The stacks are arranged in rows, creating a sense of depth. The lighting is bright, highlighting the natural wood grain and the texture of the lumber. The background shows the structural elements of the warehouse, including steel beams and a high ceiling.

# Impacto del cambio climático en la cadena de suministro

## Impacto del cambio climático en la cadena de suministro



Cada eslabón de una cadena de suministro, si bien agrega valor al producto a medida que lo atraviesa, genera un cierto impacto ambiental, incluyendo emisiones de GEI. A su vez, cada eslabón de la cadena de suministro está sujeto a riesgos debido al cambio climático en forma de eventos extremos y otros fenómenos como inundaciones o fuertes vientos, mayor frecuencia de veranos calurosos, desertificación, aumento del nivel del mar, huracanes, temperatura. cambios, cambios en los patrones climáticos locales, aumento de la intensidad y frecuencia de las tormentas, escasez de agua, propagación de enfermedades, etc.

Por lo tanto, el cambio climático y las operaciones de la cadena de suministro se ven mutuamente afectados. En la tabla 16 se resumen ejemplos de posibles impactos del cambio climático en diferentes eslabones de la cadena de suministro.

Tabla 16 Tipología de los riesgos / impactos del cambio climático en la cadena de suministro

Áreas	Tipología de los riesgos / impactos del cambio climático
	- daño o destrucción completa de activos
	- riesgos de responsabilidad
	- interrupción de plantas y líneas de producción
	- regulación con respecto a las emisiones de carbono
<b>Fabricación</b>	- cambios en la eficacia o eficiencia de los procesos de producción
	- aumento de los costes de energía y mantenimiento
	- Incremento de la demanda de biocombustibles y fuentes de energía renovable en el sector energético
	- desarrollo de productos basados en menores emisiones de GEI
<b>Transporte</b>	- aumento de problemas de conservación de infraestructuras
<b>Almacenaje</b>	- vulnerabilidad de infraestructura de almacenamiento, personal, comunicaciones, etc
	- posible deslocalización a áreas de menor probabilidad de eventos catastróficos

Tabla 16 cont

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mayor necesidad de transparencia.</li> </ul>
<b>Comercio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nueva normativa sobre etiquetado de productos incluyendo análisis de ciclo de vida y emisiones difusas de carbono.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incremento en los costes y necesidad de repercutirlos en el precio.</li> <li>- disminución de la demanda de ciertos productos</li> </ul>
<b>Consumo y servicio al cliente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- necesidad de mejorar diseño de producto con el objetivo de minimizar material de embalaje y mejorar la durabilidad, reutilización, reciclabilidad y eficiencia de los materiales del producto.</li> </ul>
<b>Instalaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- imposición de marcos regulatorios en determinadas áreas geográficas</li> <li>- deslocalización de procesos de producción intensivos en energía</li> <li>- selección de tecnología e inversiones condicionadas a reducción de emisiones</li> <li>- actuación sobre capacidad productiva afectada por cambios de tecnología</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- colocación de instalaciones lo más cerca posible de los sitios de consumo (minimización de los costes de transporte y emisiones totales)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- especialización de unidades productivas en fabricación "ecológica" dirigida a mercados más "ecológicos"</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- escasez de algunos recursos</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- necesidad de una gestión eficiente del carbono en toda la cadena de suministro</li> <li>- criterios nuevos o diferentes para la selección de abastecedores y proveedores 3PL</li> <li>- cambios en el poder de negociación de los compradores sobre los proveedores en función de coste, calidad y plazo de entrega y eficiencia en emisiones.</li> </ul>
<b>Abastecimiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implantación de certificación de "carbono" y emisiones.</li> <li>- proximidad a los proveedores y el "abastecimiento cercano" se convierten en clave del abastecimiento.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- refuerzo de las estrategias de diversificación de ubicaciones de abastecimiento</li> <li>- incorporación de consideraciones de carbono en la gestión de contratos.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- reducción de emisiones que obliga a reducir el kilometraje y el número de nodos.</li> <li>- mayor consolidación de nodos y envíos más consolidados y agregados.</li> </ul>
<b>Transporte y distribución</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- selección de modos de transporte y distribución considerando la tecnología de los vehículos, el uso de combustibles bajos en carbono, el uso de materiales livianos, la aerodinámica, la calidad de la infraestructura (p.ej. resistencia a la rodadura), la adopción más amplia de soluciones TIC para la optimización de rutas.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- modos de transporte menos intensivos en energía.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nuevos enfoques de entrega de productos a los clientes y transporte de productos</li> <li>- activos de transporte ubicados donde se han realizado evaluaciones de vulnerabilidad.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- diseño de productos utilizando inventarios de GEI que involucran materiales alternativos, fuentes de compra, procesos de producción, parámetros que afectan una mejor gestión y almacenamiento de productos y opciones de embalaje o materiales más livianos).</li> <li>- adopción más amplia de enfoques de extremo a extremo como las emisiones integradas de las piezas de un producto a lo largo de su ciclo de vida.</li> </ul>
<b>Diseño de producto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La gestión eficiente del carbono será un factor adicional y las responsabilidades, con respecto a las emisiones de GEI, entre clientes y proveedores tendrán que ser redefinidas</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconsideración de cadenas de suministro centralizadas vs descentralizadas.</li> </ul>
<b>Configuración de la cadena de suministro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadenas de suministro ágiles obligadas a encontrar formas alternativas de cumplir con los pedidos urgentes o extraordinarios considerando las emisiones de carbono.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los sistemas Just-in-Time deben ser revisados ya que su necesidad de entregas frecuentes contradice los objetivos de reducción de emisiones de carbono.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vulnerabilidades de las cadenas de suministro flexibles que necesitan un examen más detenido</li> </ul>

El informe CDP de 2011 (Carbon Disclosure Project, 2011a) proporciona información valiosa sobre los impactos del cambio climático en diferentes sectores y subsectores. Diferentes sectores se ven afectados de muchas formas por el cambio climático, algunas de las cuales son comunes, como los fenómenos meteorológicos extremos. Los procesos de fabricación están sujetos a una amplia gama de regulaciones con respecto a las emisiones de carbono y es probable que haya más en el futuro.

El sector industrial es vulnerable a los riesgos físicos, como los fenómenos meteorológicos extremos y el aumento del nivel del mar, porque estos últimos podrían provocar el cierre de las fábricas de producción. Además, lluvias más intensas en períodos más cortos podrían causar inundaciones en las infraestructuras de transporte, interrumpiendo las carreteras y comprometiendo la entrega de productos.

Las tensiones del cambio climático agregan incertidumbre a las redes de la cadena de suministro, especialmente para las globalizadas que operan en todos los continentes. La centralización del inventario experimentada durante los últimos 40 años ha aumentado la vulnerabilidad de las cadenas de suministro a patrones climáticos extremos.

El transporte, al igual que la producción, es uno de los principales contribuyentes al efecto del calentamiento global y, sin duda, un factor importante para la eficiencia energética en la cadena de suministro (Halldórsson et al, 2010). Es a través del movimiento, al menos en la mayoría de los modos de transporte de materiales, los combustibles, particularmente los combustibles fósiles, se utilizan directamente y los contaminantes, incluidos los GEI, se liberan a la atmósfera. Algunos estudios revelan la mejora potencial en términos de reducción de emisiones de GEI en el transporte, especialmente emisiones de CO<sub>2</sub>, cuando se aplica la consolidación de fletes entre cadenas de suministro, es decir, agrupando redes de suministro o cadenas de suministro (Pan et al., 2010).

Los efectos del cambio climático en las operaciones de transporte debido al calentamiento global son graves y pueden llegar a ser graves. De hecho, los fenómenos meteorológicos extremos pueden tener implicaciones muy costosas e incluso catastróficas en todo tipo de movimiento de materiales. Por ejemplo, los fenómenos meteorológicos extremos pueden desencadenar ajustes en los factores de velocidad y, por tanto, influir en la velocidad de viaje (Maoh, et al. 2008).

Como se señala en Sussman et al. (2008), es probable que un aumento general de la temperatura y una mayor frecuencia de veranos calurosos resulten problemas en transporte ferroviario y por carretera, lo que implica costes sustanciales de interrupción y reparación. En Humphrey (2008) se puede encontrar una lista completa de los impactos del cambio climático en el transporte y las acciones correspondientes necesarias para enfrentarlos.

El almacenamiento es una actividad incluida en la mayor parte de las cadenas de suministro. Tienen su parte en el efecto del calentamiento global, ya sea como contribuyentes directos o indirectos. Los almacenes a menudo ocupan terrenos valiosos y consumen recursos.

En cuanto al comercio mayorista y minorista, ambos utilizan infraestructura, equipos y procesos, que son vulnerables a los riesgos del cambio climático. Comercio es sinónimo de suministro, lo que implica el uso de instalaciones de inventario (edificios, equipos de manipulación de materiales, etc.), instalaciones e infraestructura de movimiento y transporte de materiales (por ejemplo, puertos, carreteras, camiones, trenes, etc.), personal, comunicaciones, etc. Todas ellas susceptibles de ser afectados por eventos climáticos extremos derivados del cambio climático.

Los aspectos de distribución, consumo y recuperación de residuos son también muy relevantes. Según varios estudios, los productos y envases están asociados con una gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero y esta proporción es aún mayor cuando los productos se importan y no se producen en las proximidades de los centros de consumo (Product Policy Institute, 2009).

El cambio climático y sus impactos obligan a las empresas a competir en un entorno aún más volátil que hasta hace poco. Los clientes ya buscan productos y servicios de alta calidad a bajos precios que, además, incorporan preocupaciones ambientales como la huella de carbono y la eficiencia energética (Song et al. 2010). Las empresas que no incorporen este mensaje en su propia estrategia de cadena de suministro o que no estén dispuestas a abordar los problemas del cambio climático serán eventualmente "castigadas" por clientes sensibles al medio ambiente. Además, dado el hecho de que "las cadenas de suministro compiten, no las empresas" (Christopher, 1999), es más que obvio que la gestión de la cadena de suministro jugará un papel crucial. De este modo un correcto análisis y gestión podría permitir a una empresa aprovechar plenamente las oportunidades del cambio climático y minimizar las amenazas (Yang et al. 2011).

Las tensiones del cambio climático afectarán a las cadenas de suministro no solo en el plano físico, si no también a nivel de gestión de operaciones. Los patrones climáticos extremos afectarán, en última instancia, a los programas de logística y programación, la planificación y el control de inventario, la planificación de requisitos de materiales, la programación de producción, etc. La falta de inventario, las roturas de stock, las demoras de los transportistas, la congestión del transporte y la volatilidad de los costes se encuentran entre los impactos básicos de las interrupciones (Gurning, et al., 2011).

Aparte de las interrupciones, es probable que las cadenas de suministro experimenten mayores costes de seguros atribuidos a los peligros del cambio climático. El impacto financiero de los fenómenos meteorológicos extremos provocados por el cambio climático puede verse mitigado por la industria de seguros, y, como ya se vio en un apartado anterior, las reclamaciones relacionadas con catástrofes naturales han aumentado enormemente durante los últimos años.

Todos los activos de una cadena de suministro, así como los envíos de materias primas y productos terminados, son vulnerables a los patrones climáticos extremos. Como consecuencia, las empresas deben adoptar prácticas de seguros ampliadas para proteger todos los activos y movimientos a lo largo de la cadena de suministro. El cambio climático también podría afectar a los denominados riesgos del seguro de responsabilidad. Las aseguradoras se enfrentan a tales riesgos por reclamaciones de terceros que alegan lesiones o daños a la propiedad que pueden ser culpa del asegurado (Ross, Mills & Hecht, 2007). Los eventos climáticos extremos junto con el hecho de que las grandes corporaciones están adoptando progresivamente prácticas de abastecimiento global resultarán en mayores riesgos de responsabilidad. Tales riesgos presentan un nuevo campo de controversia entre los distintos implicados en la cadena de suministro, donde las responsabilidades de cada socio también deberán redefinirse. Los riesgos de responsabilidad también pueden desencadenar cambios en los contratos de la cadena de suministro y es probable que los proveedores de logística externos también se vean afectados.

Un aspecto esencial a la hora de valorar el impacto del cambio climático sobre una empresa concreta o un subsector es el potencial efecto dominó que puede causarse en una cadena de suministro por la afectación de alguno de sus eslabones.

La figura 27 trata de representar la casuística a este respecto.

En el gradiente entre empresas de especialidades<sup>2</sup> y commodities<sup>3</sup>, se ilustran tres ejemplos básicos de proveedores.

En el primer caso, un subsector dominado por las especialidades, cada cliente tiene una serie de proveedores fidelizados. Cuando el proveedor S1 recibe un impacto por el cambio climático que impide seguir cumpliendo su producción, entonces el cliente C1 se ve arrastrado por ello. No obstante, simultáneamente C2 y C3 (y por extensión S2 y S3) experimentan una ventaja competitiva.

En el segundo caso se tiene una serie de clientes que comparten varios proveedores. Cuando S1 se ve afectada, C1, C2 y C3 experimentan un efecto negativo ya que S1 es proveedor en alguna extensión de todos ellos. En este caso S2 y S3 experimentan una leve ventaja competitiva.

El tercer y último caso, se trata de un mercado dominado por commodities, perfectamente intercambiables y donde el “campo de juego” es global. Cuando el proveedor S1 sufre un impacto que le impide completar su producción, el mercado se desabastece en dicha proporción y tanto S2 como S3 (y algún otro proveedor adicional) se benefician. La mayor parte de los clientes experimentan un aumento de precios de la materia prima, recibiendo un efecto desfavorable.

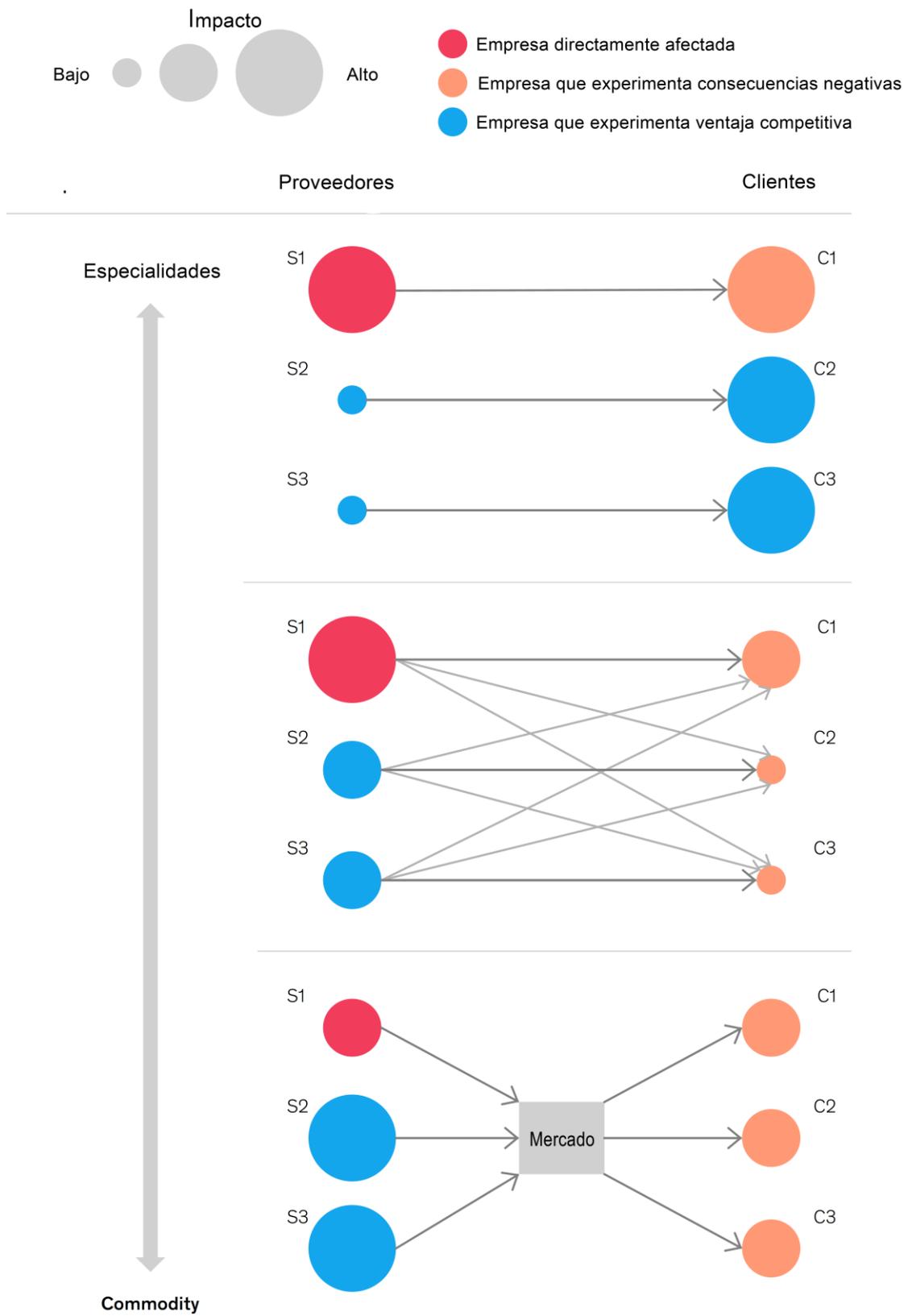
Muchos de los mercados de productos de madera (sobre todo en sus primeras fases de transformación) tienen una componente de commodity por lo que los impactos provocados por el cambio climático, aunque puedan afectar a un número pequeño de empresas, se transmiten rápidamente a todo el mercado.

---

<sup>2</sup> Especialidades: productos que no están disponibles en muchos proveedores. Proporcionan una solución adecuada para las necesidades de aplicaciones de un cliente. Las empresas de productos especializados hacen hincapié en hacer lo que el cliente quiere comprar y no meramente lo que la planta puede producir. Las especialidades, a menudo, están protegidas por patentes

<sup>3</sup> Commodities: Los productos que tienden a ser de gran volumen con una variación mínima de producto de un productor a otro. Esto significa que los productos se consideran idénticos, o casi, desde el punto de vista de una aplicación y, por lo general, tienen una composición exacta. Estos productos se venden por especificación.

Figura 27 Esquema del impacto en la cadena de suministro



CLOSED



## El efecto de la pandemia del covid19

La pandemia de COVID-19 es el mayor desafío inmediato de nuestro tiempo. Lo que comenzó como una emergencia de salud pública se ha transformado en la recesión mundial más profunda desde la Gran Depresión, ya que las interrupciones de la producción en algunos países se extendieron rápidamente por todo el mundo a través de las cadenas de suministro globales.

Las medidas de contención para combatir la propagación del virus, en efecto, han supuesto un cambio sin precedentes de la demanda, empeorando la recesión económica y deteniendo directamente los ingresos y el trabajo en posiblemente miles de millones de casos en todo el mundo.

Dependiendo de en qué momento las economías del mundo puedan reabrirse por completo y cómo se dé el proceso de recuperación, cientos de millones de personas en todo el mundo podrían correr el riesgo de volver a caer en la pobreza, revirtiendo los logros de las últimas dos décadas.

Sin embargo, aunque existen mecanismos de colaboración global, no se ha materializado un esfuerzo coordinado, lo que confirma dolorosamente el debilitamiento del espíritu del multilateralismo desde 2015. La crisis ha impactado las megatendencias de diferentes maneras. El cambio total al teletrabajo ha acelerado la digitalización de la economía. En el lado positivo, a medida que la actividad económica se ha detenido, también lo ha hecho la generación de emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire y del agua. Otros impulsores de la degradación ambiental y el cambio climático también se han ralentizado drásticamente. Las ciudades son los epicentros de la crisis del COVID-19.

Por más dañina que haya sido la crisis, también es una gran oportunidad. La rápida adopción de paquetes de estímulo de magnitud sin precedentes demuestra que, cuando es necesario y posible, los gobiernos son capaces de dar pasos valientes e intervenir a gran escala.

Las autoridades monetarias también han intervenido rápidamente y en una escala sin precedentes para proteger la estabilidad de los mercados financieros y reducir la volatilidad. Todo esto podría ser un buen augurio para la recuperación de la crisis, pero no debe ser una recuperación de la que teníamos antes. COVID-19 ofrece la oportunidad de reconstruir “mejor” mientras reinventamos y reimaginamos muchas de nuestras estructuras, actividades y aspiraciones, y las reorienta de manera decisiva hacia el desarrollo sostenible.

El objetivo de reconstruir mejor a través de una recuperación sostenible también debe enmarcar las intervenciones que darán forma a las megatendencias y sus impactos, para que refuercen y aceleren esa transformación. La recuperación ofrece la oportunidad de abordar, de frente, problemas que en circunstancias normales habrían sido muy difíciles de manejar, y hacerlo de manera innovadora.

La pandemia por Covid-19 está siendo un verdadero shock a escala planetaria para la economía, para nuestro bienestar y amenaza con producir cambios permanentes en nuestra forma de vida colectiva.

El impacto económico es y será excepcionalmente perturbador y ha aumentado significativamente la probabilidad de una recesión. La economía mundial ya ha mostrado signos de una desaceleración sustancial y el riesgo a la baja ha aumentado exponencialmente en términos de probabilidad y gravedad.

Las principales consecuencias económicas incluyen: **contracción del PIB** en todos los países, **alteración de los flujos económicos** globales, **alteración de las cadenas de suministro** en sectores individuales, aplicación de **políticas radicales**, y, especialmente, el **escenario de incertidumbre** provocado por la evolución de la pandemia y el tiempo para alcanzar su control.

En lo que se refiere a los mercados forestales, el comienzo de año 2020 había sido bastante esperanzador, impulsado, sobre todo por la fortaleza de los mercados en América del Norte alimentados por una expansión de la construcción de viviendas y tensiones de suministro.

A partir de finales de febrero la irrupción de la COVID-19 ha sacudido a la industria forestal. Desde entonces, los productos forestales, aunque con marcadas diferencias entre subsectores, han continuado cubriendo las demandas de la sociedad durante la crisis al tiempo, especialmente en lo que se refiere a artículos esenciales, como productos de higiene y sanitarios, biomasa para calefacción, etanol, embalajes, etc.

No obstante, muchos productos derivados de madera sufrieron la alteración radical del normal funcionamiento de los mercados; la reducción del comercio durante el segundo tercio del año como resultado de las medidas de confinamiento adoptadas en muchos países; el cambio en los patrones de consumo y la reducción de la demanda; los cierres de instalaciones de fabricación para proteger a los trabajadores; las limitaciones en la capacidad de manipulación de mercancías en muchos puertos y centros logísticos; y la inestabilidad financiera. Esta situación está poniendo en riesgo a numerosas empresas desde la producción, la fabricación y la distribución.

Las consecuencias inmediatas han sido, entre otras:

- la disminución de la madera en rollo exportada a China, lo que ha provocado la acumulación de existencias de productos de exportación en algunos lugares;
- demanda limitada en mercados típicamente fuertes como Austria y Alemania;
- los mercados de exportación de Francia, Italia y España estancados;
- una disminución de los ingresos por exportaciones en los países en desarrollo. En particular, los países productores de madera menos desarrollados pueden sufrir directamente el desplome de los volúmenes de exportación de madera en rollo y otros productos de madera.
- las caídas de la demanda están ocasionando importantes reducciones de producción en la industria de la madera de regiones de alto coste de aprovisionamiento de materia prima.
- Aquellos países en desarrollo que desde 2008 habían reducido sus fuentes o destinos para el comercio internacional, se encuentran en situación más débil por las alteraciones de los flujos en todos los sectores, y más aquellos que comportaban grandes distancias de transporte.

Algunas perspectivas que se apuntan para el futuro a corto-medio plazo son:

- Hay indicios de que la demanda vinculada al consumo con fines higiénicos y sanitarios puede seguir siendo alta a medida que los gobiernos, la atención médica, las empresas y los consumidores se esfuerzan por mejorar los estándares de higiene y protección personal.
- La oficina digital ubicua y el teletrabajo han venido siendo “lugares comunes” para las visiones a largo plazo de numerosas empresas y sectores productivos. Estas visiones, nunca se materializaron, por la dificultad de superar viejos hábitos. Los confinamientos generalizados a partir de marzo de 2020 obligaron a poner en marcha estos procesos de una manera inmediata y radical. Esto supuso la necesidad de acondicionar espacios en principio no pensados para el trabajo permanente. Es significativo el hecho de que, por ejemplo, en Estados Unidos mientras la construcción de viviendas se desplomaba un 30%, los productos de madera de "bricolaje" y el mobiliario en *kit* vieron su demanda disparada. Si trabajar y aprender de forma remota se mantiene, el trabajo y estudio presencial necesita de nuevas distribuciones del espacio, y si se confirma que muchas personas acaben trasladando su residencia a áreas más baratas y viviendas más espaciales, se puede prever un impacto positivo en la demanda de madera y se ejercerá presión sobre la oferta.
- Los efectos sobre el turismo y la demanda de construcción vinculada al mismo, han sido devastadores y se prevén duraderos.
- Las compras online aumentaron entre un 100% y un 200% según la categoría. Los canales de distribución y venta minorista sufrieron un gran impacto, aunque han intentado en muchos casos evolucionar apresuradamente hacia canales electrónicos.
- El impacto de la pandemia será particularmente significativo en Europa y Estados Unidos, donde la demanda de los consumidores ha sido el motor clave del crecimiento económico en los últimos años.
- El declive recesivo de la actividad económica ha suprimido la demanda general de envases de papel. Sin embargo, el comercio electrónico ayuda a apuntalar la demanda de cartón. El comercio electrónico es más "intensivo en cajas" que los canales tradicionales, ya que utiliza siete veces más material corrugado por unidad de gasto que las ventas minoristas tradicionales.

La menor disponibilidad de inversión pública y privada debido a la crisis económica puede reducir los esfuerzos para transformar los sistemas de producción y poner en riesgo los ambiciosos compromisos del sector público y privado para combatir el cambio climático como la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y lograr el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Las estrategias de sostenibilidad para reducir las emisiones, apuntar al cero desperdicio y reducir la contaminación plástica estaban muy avanzadas antes del Covid-19. Todas estas tendencias apoyan un cambio hacia los envases de papel. Sin embargo, la crisis ha provocado un aumento en los plásticos por dos razones: limpieza percibida y los bajos precios del petróleo y el gas durante la crisis.

Para reducir la propagación de gérmenes, muchos artículos reutilizables se han reemplazado por artículos de un solo uso. Por ejemplo, muchos minoristas de alimentos y gobiernos locales prohibieron las bolsas de compras reutilizables en los supermercados, y los restaurantes están usando más platos, recipientes, utensilios y vasos de un solo uso. Muchos de estos artículos están hechos de plástico, que suele ser más competitivo en precio, más fácil de escalar su

producción en comparación con los productos de papel comparables. Además, a medida que la recesión pasa factura, la disposición de los consumidores a pagar una prima por los envases de papel ecológicos podría flaquear. Pese a todo ello, la percepción, por parte de una amplia capa de la sociedad, de la relación que esta crisis sanitaria puede tener que ver con la insostenibilidad y la amenaza del cambio climático, puede contribuir a mantener cierta presión, en la demanda, los gobiernos y las corporaciones para invertir en sostenibilidad. Empresas multinacionales de la alimentación y la cosmética vienen de anunciar su renovada apuesta por la innovación en envases basados en papel en medio de Covid-19.

Los gobiernos han desempeñado un papel fundamental en el sostenimiento de la actividad económica, incluso cuando la respuesta a la crisis ha provocado una recesión mundial. Estas intervenciones han incluido:

- Estímulos fiscales como prestaciones por desempleo, reducciones y aplazamientos de impuestos o pagos directos a los empleadores para evitar despidos.
- Estímulos monetarios como tasas de interés bajas, aumento de la deuda pública, compras de activos del sector privado, incluidas acciones, hipotecas y deuda corporativa
- Relajación de las reglas que restringen la construcción de viviendas, el comercio internacional y las compras de los consumidores.
- Otras intervenciones de mercado como compras directas de suministros, cierres obligatorios de negocios, regulaciones ambientales y restricciones a las importaciones / exportaciones.

Los gobiernos pueden gastar a una escala mayor que cualquier otro actor económico. Pero, es incierto hasta cuando se podrán mantener las intervenciones económicas de emergencia. Si estas fuentes de estabilidad artificial cesan antes de haberse llegado a controlar la pandemia, las consecuencias podrían ser devastadoras para la industria y la economía en su conjunto.

El nacionalismo económico, que ya venía haciendo acto de presencia en los últimos años, ha crecido como no se recordaba, buscando proporcionar paquetes de estímulo para que sus industrias nacionales mantengan la generación de ingresos. Adicionalmente a las “guerras comerciales”, el auge del populismo, los cambios radicales de liderazgo en sociedades impactadas por la crisis y otras tendencias políticas pueden contribuir a desestabilizar aún más la cadena de suministro de productos forestales.



Matt Lillywhite - The stairs at Calgary Public Library (via Unsplash)

## Adaptación al cambio climático de la industria de la madera.

### Introducción

El IPCC (2014) ha advertido de que, incluso las acciones globales enérgicas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, no evitarán que nuestro clima continúe cambiando en algún grado durante muchas décadas. Por lo tanto, la adaptación debe ser parte de la respuesta al cambio climático porque la mitigación por sí sola no es suficiente (Parry et al. 2007; Lemmen et al. 2008). Es más, se requieren esfuerzos sustancialmente mayores para adaptarse al cambio climático que para el intento de mitigación. Por ello las mejores estrategias serán aquellas que contribuyan tanto a la mitigación como a la adaptación al mismo tiempo.

Es probable que las acciones proactivas sean mejores que los enfoques reactivos porque los primeros pueden tener más posibilidades de evitar o reducir los impactos negativos y las vulnerabilidades y de buscar beneficiarse de nuevas oportunidades (Ohlson et al. 2005). En general, también pueden ser menos costosos. Las estrategias proactivas incluirían ejecutar acciones de adaptación preventivas en previsión de impactos futuros (Spittlehouse et al. 2003).

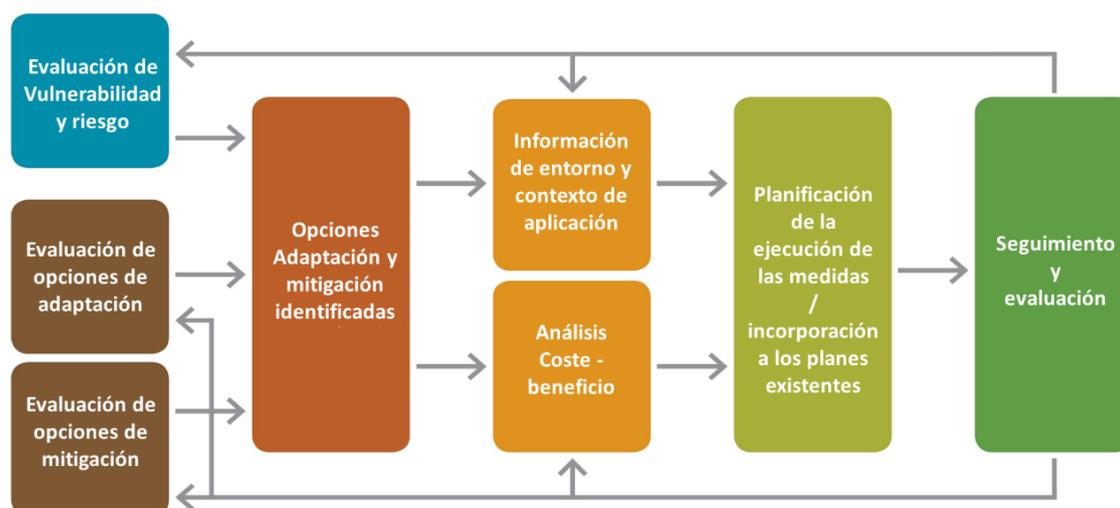
La adaptación anticipada es especialmente importante en el sector forestal debido a los largos turnos de producción necesarios para materializar las cortas, y a la incertidumbre de saber si las especies elegidas para plantar hoy se desempeñarán bien en un clima diferente en el futuro (Lemmen et al. 2004).

También se necesitarán respuestas reactivas, por ejemplo, ante fenómenos meteorológicos extremos imprevistos o perturbaciones naturales. Incluso en estos casos, puede ser posible desarrollar, por adelantado, sistemas de pronóstico, planificación y respuesta que reduzcan el impacto de tales eventos. Los altos grados de incertidumbre asociados con un clima cambiante, sus impactos y las vulnerabilidades de varios sistemas resaltan la importancia potencial de la implementación, cuando sea posible, de estrategias que utilicen principios de gestión adaptativa abordando la incertidumbre (Murray et al. 2004; Marmorek et al. 2006).

Esto significa establecer un proceso iterativo de aprendizaje de la implementación de decisiones investigando, realizando seguimiento y evaluando los resultados y luego ajustando las decisiones según sea necesario figura 28. La intención es permitir que la gestión maneje mejor y con mayor capacidad de respuesta las incertidumbres, aunque la gestión adaptativa tiene sus propios desafíos (Marmorek et al. 2006).

El aumento de la capacidad de adaptación implica promover oportunidades de aprendizaje y mejorar la flexibilidad de gestión. Las oportunidades de aprendizaje social tienen el potencial de aumentar las percepciones de autoeficacia para adaptarse al cambio climático y, al compartir experiencias e información, pueden resultar en un aumento en el conocimiento sobre las acciones de adaptación y la participación en la gestión adaptativa (Armitage et al., 2011; Reed et al., 2010). La flexibilidad en la gestión de los sistemas socioecológicos es clave para aumentar la capacidad de adaptación (Folke et al., 2002) de la industria forestal. Como se evidencia a partir de la integración de las percepciones y experiencias de los impactos del cambio climático, y la exposición potencial que pueden ocasionar los impactos, existen varias estrategias de adaptación que podrían ser más ampliamente aceptadas por las partes interesadas (por ejemplo, estrategias de adaptación que abordan insectos / patógenos y eventos de precipitación extrema).

Figura 28 El proceso iterativo de adaptación



En las páginas siguientes del presente trabajo se indicarán algunas estrategias de adaptación al cambio climático para la industria de la madera. En particular se plantean las siguientes:

- Mejorar la adaptación a través de extensión e incentivos económicos.
- Desarrollo equilibrado del potencial de secuestro de carbono en productos de madera y el efecto sustitución.
- Desarrollo de cadenas de valor innovadoras basadas en madera.
- Adaptación de la cadena de suministro al cambio climático.
- Impulso al papel de la Certificación Forestal.

Hay que hacer notar que estas estrategias están relacionadas entre sí y lo adecuado, en muchos casos sería adoptar varias, o la totalidad, de las mismas para aprovechar de una manera óptimas las posibles sinergias.

## Mejora de la adaptación forestal a través de extensión e incentivos económicos

La gestión forestal juega un papel clave en el mantenimiento de las producciones y servicios de los ecosistemas al compensar o disminuir las vulnerabilidades al cambio climático que pueden afectar negativamente la capacidad del bosque para mantener sus funciones esenciales (Locatelli et al., 2011). Específicamente, las estrategias de adaptación se emplean para hacer frente, gestionar o adaptarse mejor a las condiciones cambiantes (Smit y Wandel, 2006) y pueden implicar la reducción de los impactos de los eventos relacionados con el clima o el aumento de la capacidad del sistema forestal para recuperarse de las crisis (Keenan, 2015).

A pesar del creciente interés en estrategias de adaptación específicas entre los responsables de la formulación de políticas y los científicos, existe, por ahora, una escasa adopción de medidas por parte de las partes interesadas del sector (Sousa-Silva et al., 2016). Como en otros sectores, en general, existe una preocupación creciente de que el simple hecho de aumentar el conocimiento sobre el cambio climático no siempre se ha venido traduciendo en la adopción de estrategias de adaptación (Gootee et al., 2010).

El estudio de Andersson et al. (2018) enfatiza que la adaptación debe ser vista como dirigida y limitada por las lógicas del sistema social institucional existente, más que por motivaciones "racionales" definidas externamente. Por lo tanto, los esfuerzos de adaptación al cambio climático deben considerarse en relación con las estructuras de incentivos y motivaciones institucionalmente existentes y tratar de cambiarlas, y por lo tanto deben concebirse a través de lógicas sociales más que exclusivamente medioambientales.

El sector forestal comprende una variedad de subsectores, agentes, empresas con diferentes valores, necesidades y percepciones. Por ejemplo, los propietarios privados no industriales (NIPF) difieren de los gestores de patrimonios forestales pertenecientes a industrias o a los gestores forestales públicos. Los NIPF suelen tener múltiples objetivos en términos de gestión forestal que no siempre están exclusivamente dirigidos al mercado de la madera. Es decir, muchos gestores tienen como objetivo principal, preservar el legado familiar o conservar sus propiedades como lugar de esparcimiento (Lönstedt, 1997; Kline et al., 2000, Otto-Banaszak et al., 2011).

Los propietarios forestales privados, no industriales, ejercen relativamente poca influencia, en fuerte contraste con los gestores forestales públicos o las empresas e industrias forestales, en parte debido a la desigualdad de información y habilidades relacionadas con la gestión forestal y a que, cuando externalizan los tratamientos selvícolas lo hacen a través de pequeños contratistas locales que tampoco están especialmente tecnificados. Una característica clave es la posibilidad de apoyarse en profesionales forestales para guiar, apoyar y transferir conocimientos y normas a los propietarios privados en pequeña escala sobre lo que se considera una adecuada gestión forestal y las medidas oportunas de adaptación al cambio climático (Keskitalo et al., 2014).

En áreas con una tipología de propiedad forestal muy diversa, la adaptación exitosa requiere la participación de una amplia gama de partes interesadas, incluidos propietarios privados, industrias gestoras de masas forestales, decisores públicos y privados y funcionarios públicos de las administraciones forestales (Laatsch & Ma, 2015). En áreas donde dominan los propietarios privados no industriales o la silvicultura familiar, la ausencia de información, apoyo técnico y la

escasa masa crítica, por el pequeño tamaño de las propiedades, supone la mayor dificultad (Soucy, 2020)

Las percepciones de la adaptación al cambio climático entre agentes del sector forestal han sido ampliamente estudiadas (Boby et al., 2016; Guariguata et al., 2012; Lenart y Jones, 2014), particularmente entre los propietarios privados no industriales (Boag et al., 2018; Quartuch y Beckley, 2014). Si bien múltiples estudios han comparado las percepciones de adaptación entre los profesionales forestales y el público en general (Hajjar et al., 2014; Eriksson, 2018), actualmente hay una falta de investigación que las compare entre propietarios privados y gestores forestales dependientes de industrias.

Podría parecer que creer haber experimentado los impactos del cambio climático fortalece la creencia en los impactos mismos (Blennow et al. 2020).. Pero, por ejemplo, Andersson et al (2018b) indican que propietarios suecos después de ser afectados por las tormentas Gudrun (2005) comenzaron a considerar las tormentas como un peligro natural, lo que hace que su riesgo sea inevitable y las medidas de adaptación innecesarias. La lógica contemporánea o la gestión de riesgos convencional implicaría, por tanto, que el riesgo es aceptable siempre que sea reparable.

Varios factores pueden influir en la implementación o no de estrategias de adaptación específicas por parte de los propietarios forestales, incluida la conciencia del riesgo, las opciones de gestión a la luz de las capacidades, valores y actitudes individuales, y educación y los aspectos financieros (Vulturius & Swartling, 2015; André et al., 2017; Moser, 2014).

Las percepciones del riesgo del cambio climático son una construcción mental subjetiva de los propios sentimientos personales hacia la gravedad y / o probabilidad de una amenaza o suceso (Slovic et al., 2004). Las percepciones del riesgo del cambio climático están determinadas por factores cognitivos, experienciales y socioculturales (van der Linden, 2015; Wolf y Moser, 2011).

Específicamente, la experiencia previa con los riesgos, la dependencia de los bosques y el control percibido sobre los riesgos están asociados con las percepciones del riesgo del cambio climático entre los propietarios de bosques (Eriksson, 2014). El aumento de las percepciones del riesgo del cambio climático puede ser un predictor importante de la necesidad percibida de cambiar (Leiserowitz, 2006) y se ha demostrado que influye en el comportamiento indirectamente a través de la eficacia de la respuesta (es decir, la creencia de que las acciones de uno serán efectivas) (Bradley et al., 2020). Dentro de la gestión forestal, el aumento de las percepciones del riesgo se ha relacionado con la voluntad de implementar estrategias de adaptación (Blennow et al., 2012).

Las orientaciones de valores y las normas sociales pueden jugar un papel importante en la determinación de las percepciones de riesgo y la adaptación al cambio climático (Leiserowitz, 2006). Sin embargo, si bien los valores pueden tener un efecto directo menor sobre el comportamiento, su efecto sobre el comportamiento está mediado en gran medida por otros factores, incluidas las percepciones de riesgos del cambio climático, las normas (van der Linden, 2014a) y las actitudes y creencias generales (Fulton et al., 1996). Las normas sociales son expectativas sobre cómo se supone que las personas deben creer o actuar dentro de grupos sociales específicos (Hogg y Reid, 2006).

Se ha descubierto que las normas sociales influyen en las percepciones del riesgo del cambio climático, ya que cuanto más se percibe el cambio climático como un riesgo para los contactos sociales importantes, más aumenta la percepción del riesgo propio (van der Linden, 2015). Las

normas también pueden influir en el comportamiento, ya que pueden alentar o limitar la adaptación según la percepción de lo que es socialmente aceptable (Adger et al., 2009) y se ha demostrado que influyen directamente en la intención de adaptación del comportamiento entre los propietarios de tierras forestales (Hengst-Ehrhart, 2019).

Otro aspecto relevante en la implementación de gestión forestal adaptativa entre propietarios forestales no industriales es la autoeficacia. La autoeficacia se relaciona con el juicio de un individuo sobre si tiene o no las habilidades y / o recursos para ejecutar un curso de acción específico o realizar un comportamiento en particular (Bandura, 1997). Tanto el conocimiento como la preocupación influyen en las percepciones de autoeficacia, ya que saber más sobre el cambio climático aumenta la preocupación general por los riesgos, lo que a su vez conduce a una mayor eficacia percibida y responsabilidad de actuar (Milfont, 2012). Las percepciones de autoeficacia pueden afectar directa e indirectamente al comportamiento (van der Linden, 2014a; Grothmann & Patt, 2005). Los esfuerzos de comunicación que comprenden la autoeficacia percibida e intentan aumentar la eficacia pueden conducir a una mayor adaptación (Krantz y Monroe, 2016).

Pese a todo, aún con la voluntad de adaptación, hay que superar una variedad de barreras de a la misma, que incluyen limitaciones de conocimiento, tecnológicas, financieras, biofísicas y de recursos humanos (IPCC, 2014). Será imprescindible, pues, comprender, en los casos donde se quiera promover la adaptación, la existencia de este tipo de barreras, y aplicar los incentivos específicos que pueden ayudar a superarlas.

Los incentivos económicos pueden ayudar a los administradores y propietarios forestales a cubrir los costes de las prácticas forestales sostenibles (Leahy et al., 2008). Otros incentivos basados en el mercado, incluida la certificación forestal, también pueden fomentar la gestión forestal sostenible a través de las demandas del mercado. La concesión de licencias sociales, o la obtención de legitimidad o aceptabilidad local, es útil para buscar la aprobación pública para las actividades de gestión y puede aumentarse mediante la certificación forestal. (Hagan et al., 2005).

En muchos casos, las prácticas de adaptación, o las acciones de gestión para contribuir a la mitigación del cambio climático, necesitarán incentivos económicos y técnicos. Desde el punto de vista de la industria de la madera, será necesario promover y facilitar la adaptación de los propietarios forestales con el fin de preservar su producción que será la fuente de la materia prima futura.

Como ya se ha analizado a lo largo de este informe, en general, el cambio climático afectará las condiciones de las masas forestales (extensión, sanidad/vitalidad y composición/biodiversidad), favoreciendo incrementos en las tasas de crecimiento en algunas áreas y pero disminuyéndolas en otras a la vez que pondrá en peligro la supervivencia de algunas especies y comunidades forestales. La temperatura, la disponibilidad de agua y los cambios en la estacionalidad pueden convertirse en factores limitantes, dependiendo del área geográfica, las condiciones climáticas originales, la diversidad de especies y las actividades humanas. Por lo general, estos cambios afectarán la frecuencia e intensidad de los incendios y las plagas y enfermedades de insectos, así como los daños causados por condiciones climáticas extremas, como sequías, lluvias torrenciales y vientos huracanados. Estos cambios alterarán la prestación de servicios y bienes de los ecosistemas forestales, lo que planteará una serie de nuevos desafíos para los propietarios y gestores forestales.

La aplicación de acciones de mitigación y adaptación climática en el sector forestal depende de los siguientes aspectos críticos:

- Conciencia sobre el cambio climático: falta de conciencia de la necesidad de adaptación, rigidez y aversión al cambio, creencia de que hay mucho tiempo para empezar a decidir sobre la adaptación;
- Información y conocimiento disponibles. Existe conocimiento limitado de la naturaleza y magnitud de los riesgos y vulnerabilidades climáticos actuales y / o futuros. Hay falta de conocimiento y antecedentes en la implementación de medidas de adaptación. Faltan habilidades y competencias en el capital humano del sector adecuadas para la adaptación;
- Efecto / retorno a largo plazo de las acciones de adaptación. Las decisiones la y planificación se toman con foco en el corto plazo. Falta de aceptación de la aparente incertidumbre del cambio a largo plazo.
- Existencia de escasos retornos económicos de la silvicultura que dificultan la asunción de los costes adicionales de las medidas de adaptación identificadas. Condiciones económicas menos atractivas en la gestión tradicional que en la adaptada;
- Ausencia de políticas, regulaciones, normas o pautas que fomenten la adaptación; Existencia de regulaciones que representen impedimentos reales para la adopción de medidas;

Los estudios sobre esta materia consultados indican que, como ya se ha mencionado, en general, la mayor parte de los gestores forestales no conocen los posibles efectos que el cambio climático tiene o puede tener en sus propiedades, y los que de alguna manera tienen información, no implementan actividades específicas, debido a la falta de acceso a la financiación o al conocimiento y la asistencia técnica.

A pesar de esto, los propietarios forestales toman medidas ante las amenazas actuales, y dado que, en muchos casos, los impactos del cambio climático no serán nuevas amenazas, sino más bien la intensificación de amenazas ya existentes, pequeñas variaciones graduales en las medidas actuales pueden abordar los efectos del cambio climático (p.ej. gestión preventiva de incendios, control y gestión de plagas y enfermedades y prácticas de GFS).

Los incentivos económicos pueden ser necesarios para superar algunos de estos diferentes problemas críticos (conciencia, información y conocimiento, efecto a largo plazo, existencia de retornos económicos de la silvicultura).

Los gestores forestales pueden ser estimulados para adaptarse al cambio climático a través de esquemas de incentivos, como el pago por servicios ecosistémicos (PES) o el requerimiento por parte de los mercados de un cierto nivel de responsabilidad socioambiental (Certificación Forestal).

A nivel de la UE, existe una amplia gama de incentivos económicos que podrían apoyar la adaptación de los bosques al cambio climático. En el marco de los Fondos Estructurales y de Inversión Europeos, que incluyen el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), el Fondo de Cohesión (FC), el Fondo Social Europeo (FSE) y el Fondo Agrícola Europeo de Desarrollo Rural (FEADER), pueden encontrarse, al menos sobre el papel, diversas oportunidades. Por ejemplo, la Política Agrícola Común (PAC) financiada por el FEADER incluye la posibilidad de desarrollar

medidas de apoyo a la mitigación y adaptación al cambio climático en el sector forestal, a través de inversiones forestales, medidas forestal-medioambiental-climáticas o acciones de transferencia de conocimientos e información. Sin embargo, queda mucho por hacer para ayudar a los propietarios forestales a adaptarse al cambio climático.

El desarrollo de esquemas de incentivos en el marco del Programa de Desarrollo Rural también puede ser de suma importancia, éstos pueden aportar información, concienciación, asistencia técnica y apoyo económico para algunas prácticas relacionadas con la adaptación con costes que puedan ser económicamente inviables por los bajos rendimientos económicos de la silvicultura. En particular pueden habilitar para:

- superar barreras no financieras, p. ej. formación y creación de capacidad para cubrir las lagunas de conocimiento e información;
- superar la resistencia a la innovación, p. ej. proporcionar un incentivo para cambiar prácticas que han sido comunes en una determinada región durante largos períodos de tiempo;
- financiar aportaciones externas y especializadas para diseñar prácticas mejores y adaptadas localmente;
- eliminar la resistencia al cambio debido a las incertidumbres sobre las pérdidas bajo el impacto de los escenarios climáticos;
- proporcionar viabilidad financiera a prácticas alternativas, p. ej. reemplazar las prácticas menos adecuadas (pero rentables a corto plazo) por prácticas mejor adaptadas al cambio climático;
- cubrir pérdidas asociadas con restricciones temporales a las prácticas actuales, p. ej. excluir el pastoreo hasta que se recuperen los suelos o la regeneración forestal;
- financiar el sistema de información y seguimiento para medir los costes y los beneficios climáticos introducidos por las medidas.

Algunas de las iniciativas que, desde la industria, las administraciones forestales y otros agentes del sector se pueden colaborar en desarrollar para facilitar la adaptación de los propietarios forestales son:

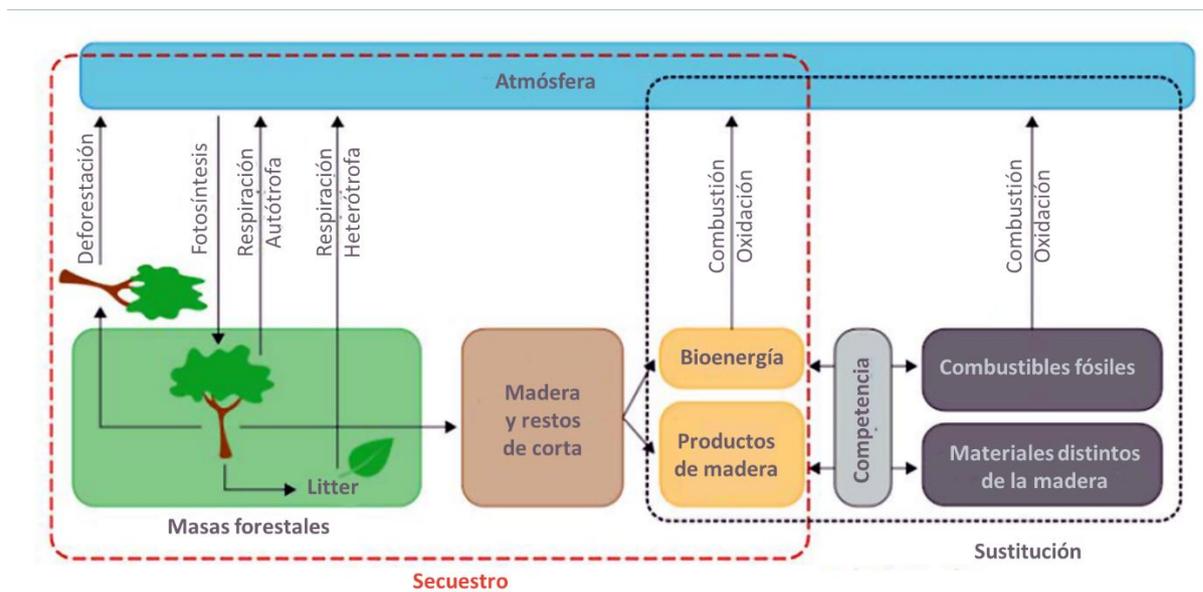
1. Acciones de transferencia de conocimiento e información sobre riesgos del cambio climático y herramientas de adaptación.
2. Servicios de asesoramiento para facilitar la adaptación (extensión forestal).
3. Inversiones en activos físicos que puedan reducir la exposición de algunas explotaciones a los impactos del cambio climático: por ejemplo, construcción de puntos de agua que puedan servir a la hora de la extinción de incendios o para riegos puntuales de emergencia en periodos de sequía.
4. Restaurar el potencial de producción dañado por desastres naturales y eventos catastróficos.
5. Forestación y creación de masas forestales adaptadas.

6. Las acciones de gestión forestal para mejorar resiliencia e incrementar los servicios ecosistémicos que proveen las masas forestales. Financiamiento voluntario del mercado de carbono o Pago por servicios ecosistémicos (PES)
7. Establecimiento de sistemas agroforestales para mejorar la protección del suelo, prevenir la erosión, mejorar la calidad del agua y del suelo, disminuir la demanda de agua y crear áreas de refugio y sombra para el ganado y los cultivos.
8. Inversiones que mejoran la resiliencia y el valor ambiental de los ecosistemas forestales. En general, todas las inversiones que mejoran la resiliencia de los ecosistemas forestales son beneficiosas para la mitigación.
9. Implantación de seguro forestal que puedan reducir el impacto financiero de eventos como incendios forestales o daños por tormentas. Además, el seguro forestal puede ser una buena herramienta para promover la implementación de estrategias integrales de gestión de riesgos con visión de largo plazo, bajo el marco de gestión forestal adaptativo.

## Desarrollo equilibrado del potencial de secuestro de carbono en masas forestales, y productos de madera.

La figura 29 adaptada Nabuurs et al., 2015, ilustra el flujo de carbono entre la atmósfera, la biosfera y el conjunto de materiales, bioproductos y derivados de recursos fósiles. Las dos “palancas” principales por las que se puede actuar para la mitigación del cambio climático son el “secuestro” y la “sustitución”.

Figura 29 El ciclo de carbono en el ecosistema-tecnosistema forestal



El secuestro significa que el CO<sub>2</sub> se capta de la atmósfera hacia la biosfera donde se almacena durante más o menos tiempo. En el caso de un parovechamiento forestal, cuando los árboles se cortan, una fracción significativa del carbono continúa almacenado en los productos de madera. Esto retrasa la liberación de carbono a la atmósfera, hasta varias décadas o incluso siglos en el caso de productos de madera de larga duración. (IPCC 2000; 2006).

La sustitución significa que algo de origen no renovable es reemplazado por madera como material o combustible.

Sin embargo, existe una compensación entre secuestro y sustitución: si se mantienen durante más tiempo los árboles en la masa forestal para maximizar la acumulación de carbono en el ecosistema, hay menos madera disponible para almacenar carbono en productos de madera y para sustituir cualquier otro material dependiente de emisiones fósiles.

Del mismo modo, si se intensifica la utilización de la madera, por ejemplo, con mucha producción adicional de bioenergía, hay menos carbono almacenado en el ecosistema, y el retorno a la atmósfera del carbono por la combustión es muy rápido.

La evaluación de las emisiones netas de carbono del uso de la madera requiere que se cuantifiquen los flujos de carbono tanto en el ecosistema forestal como en el tecnosistema relacionado. El ecosistema forestal emite CO<sub>2</sub> a partir de la respiración, elimina el CO<sub>2</sub> de la atmósfera mediante la fotosíntesis y almacena carbono en la biomasa y el suelo. La biomasa de

madera aprovechada se transfiere al tecnosistema, que almacena carbono en productos de madera, emite CO<sub>2</sub> de la combustión de biomasa y operaciones basadas en combustibles fósiles, y evita las emisiones fósiles debido a la sustitución de materiales y energía. Además de las emisiones de CO<sub>2</sub>, el ecosistema forestal y el tecnosistema provocan otras emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), y su contribución a los impactos del cambio climático puede ser significativa.

La evaluación del impacto climático de la utilización de la madera se puede simplificar convirtiendo todas las emisiones de GEI a equivalentes de CO<sub>2</sub> en un horizonte temporal de 100 años. Sin embargo, los bosques pueden tener varios otros impactos climáticos además de las emisiones de GEI, como el albedo, los aerosoles biogénicos, el efecto sobre la formación de nubes, la evaporación y la rugosidad de la superficie (Kalliokoski et al., 2019).

Las estrategias de mitigación que se centran en un mayor uso de productos de madera se basan en una combinación de un mayor depósito de carbono en productos de madera y la evitación de emisiones de materiales fósiles (por ejemplo, plástico y poliéster) o materiales que consumen mucha energía (por ejemplo, hormigón, acero, vidrio). Numerosos trabajos como Petersen et al. (2005), Werner et al. (2007) o Sathre et al. (2010) sugieren que la sustitución puede proporcionar importantes beneficios de mitigación del clima. Esta estrategia se puede lograr aumentando los aprovechamientos procedentes de gestión forestal sostenible, pero también aumentando las tasas de reciclaje y extendiendo la vida útil de los productos de madera (Brunet-Navarro et al. 2017).

Los beneficios climáticos generales del uso de madera se pueden estimar mejor comparando las emisiones de gases de efecto invernadero de un producto diseñado a partir de madera con un producto hecho de otros tipos de materiales (Churkina et al. 2020), teniendo en cuenta el ciclo de vida completo de el producto (producción, uso y fin de vida).

Leskinen et al. (2018) encontraron que la gran mayoría de los factores de sustitución de la bibliografía indican que el uso de madera y productos derivados de la madera están asociados con menores emisiones fósiles. La mayoría de los factores de sustitución encontrados en la literatura se relacionan con la construcción, con mayor énfasis en la etapa de fabricación (Pomponi et al. 2016). Existe una variabilidad e incertidumbre sustanciales en los factores de sustitución publicados incluso para el mismo tipo de producto (Leskinen et al. 2018; Knauf, 2016; Soimakallio et al. 2016; Braun et al. 2016; Smyth et al. 2017). Además, hay todavía mucho trabajo que desarrollar para otros tipos de productos, como muebles, embalajes, fibras textiles o bioquímicos (Lettner et al. 2018).

Dado que la deforestación libera cantidades significativas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, se incentiva prevenir la degradación de las áreas forestales y, sobre todo la conversión a otros usos, como medios elegibles para obtener créditos de compensación de carbono (van Kooten et al, 2016; Johnston et al., 2017). Sin embargo, poner valor en el carbono almacenado en los árboles puede fomentar turnos más largos, mayores niveles de forestación e inversiones de margen intensivas generales (van Kooten et al., 1995; Baker et al., 2017).

El papel de la gestión forestal en la mitigación del CO<sub>2</sub> se extiende más allá del bosque a medida que los gobiernos recurren cada vez más a la energía de la biomasa forestal como sustituto de los combustibles fósiles (McDermott et al., 2015).

Desde una perspectiva de contabilidad de carbono, el IPCC (2006) establece que las emisiones y absorciones de la energía de biomasa se reportarían en el sector de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU – *Agriculture, Forestry and other Land Uses*) en el momento de la corta, y no en el sector de energía cuando la madera se quema. Por lo tanto, las empresas pueden reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub> notificadas en el sector energético utilizando biomasa forestal. Estos incentivos pueden hacer que tierras de agricultura marginal se dirijan hacia la producción de biomasa con fines energéticos (Ince et al., 2011.; Moiseyev et al., 2011), y provocar que sus precios converjan con los de la madera en rollo con destino industrial (Buongiorno et al., 2011).

Otro factor que influirá inevitablemente en la expansión de la energía de la biomasa en el futuro es el grado de beneficios netos del carbono. Un elemento central del argumento de "carbono cero" para la energía de biomasa es la idea de que la quema de madera para obtener energía se elimina posteriormente por el futuro rebrote del árbol cortado. Sin embargo, este rebrote puede llevar muchas décadas y puede deteriorar los beneficios de mitigación del cambio climático asociados con la bioenergía (Johnston et al, 2015). El análisis del ciclo de vida de la producción de pellets de madera, que a menudo adopta un enfoque a nivel de rodal para la contabilidad de GEI, indica que el tiempo necesario para eliminar la deuda de carbono de la quema de biomasa puede llevar 38 años si se utiliza madera en pie; o 16 años si se producen pellets a partir de residuos forestales (McKechnie et al., 2011).

Estudios recientes de modelos económicos sugieren que las respuestas del lado de la oferta a las políticas de bioenergía que aumentan los precios pueden resultar en ganancias netas de carbono en el paisaje (Daigneault et al., 2012; Latta et al., 2013; Galik et al., 2015). Este resultado es apoyado por Tian et al. (2018), que sugieren que altos niveles de crecimiento de la demanda de biomasa forestal pueden estimular inversiones de margen extensivas e intensivas en silvicultura y, por lo tanto, niveles más altos de secuestro de carbono. Pero esto sólo se verifica si hay una exigencia de que la biomasa que reciba incentivos directos o indirectos proceda de gestión forestal sostenible.

En lugar de centrarse en la bioenergía y la silvicultura que aumentan el almacenamiento de carbono forestal, la sociedad también puede considerar el carbono secuestrado en los productos de madera posteriores a la corta y las emisiones de CO<sub>2</sub> que se evitan cuando la madera reemplaza a otros materiales intensivos en energía y carbono fósil.

La aproximación de incentivos que la madera en rollo no se utilice como combustible y si como materia prima de productos de larga duración se ha demostrado tanto para Canadá (Smyth et al.2014) y Europa (Pilli et al.2017) como la opción más beneficiosa para la mitigación del cambio climático.

El carbono que se transfiere de la madera viva a los productos de madera se considera una adición al carbono que se almacena como resultado de las actividades forestales. Se podrían contabilizar ahorros de carbono adicionales de entre 0,3 y 3,3 t CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup> si se incluyeran las emisiones evitadas por el uso de productos de madera en la construcción en lugar de depender de productos intensivos en emisiones como el acero y el hormigón (Hennigar et al., 2008). Un enfoque integral de la gestión forestal que tenga en cuenta los flujos de carbono en todos los depósitos de carbono puede proporcionar los mayores beneficios de mitigación climática proporcionados por el sector forestal (Lemprière et al., 2008). Incluso para algunos autores, es preferible el aprovechamiento frutos de gestión forestal sostenible y que la madera sea

transformada en productos de madera a solo almacenar carbono en un ecosistema forestal no gestionado (Smyth et al., 2014).

También puede haber un mayor dividendo de carbono si la madera se procesa en productos de madera en lugar de utilizar biomasa de madera para producir energía (Kurz et al., 2013). Sigue existiendo un potencial significativo para que los sumideros de productos de madera se expandan, almacenando así carbono durante períodos prolongados y promoviendo un aumento en la producción de productos de madera (van Kooten et al., 1999; Kurz et al., 2013).

Como ya se ha apuntado en apartados previos, las *Forest Sector Pathways* (FSP) tienen una fuerte influencia en las vías del carbono forestal y la bioenergía, que está impulsada por varios elementos de índole política y socioeconómica. Los FSP-SSP que prevén un futuro más verde podrían hacer que las actividades forestales asuman un papel central en las futuras estrategias de cambio climático. En este sentido, según Acuerdo de París se espera que, aproximadamente, el 25% de las reducciones de emisiones de las contribuciones determinaas a nivel nacional (NDC) emanadas de dicho acuerdo, provengan del sector LULUCF (Grassi et al., 2017; Forsell et al., 2016).

## Desarrollo de cadenas de valor innovadoras basadas en madera:

Actualmente, en la UE-28, alrededor del 25% del suministro total de biomasa de origen terrestre es madera (es decir, aproximadamente 269 millones de toneladas de materia seca por año). Aunque se reconoce que el dato es muy incierto, en la UE se estima que el 28% de la producción anual de madera en rollo se utiliza para diferentes fines energéticos.

La madera sostenible es candidata para la próxima generación de fuentes climáticamente neutras de materiales y productos químicos, con un potencial significativo utilizado mediante el apoyo adecuado de la investigación y la innovación. En las próximas décadas, la demanda adicional de madera creará la necesidad de fortalecer la gestión forestal sostenible y la industria transformadora Forest Europe (2020).

Con la necesidad de avanzar hacia economías de bajas emisiones y facilitar la adaptación al cambio climático, el uso intensificado de materiales de madera, siguiendo el principio de eficiencia de recursos, representa una gran oportunidad para:

- a) mejorar los productos de madera en características y uso en aplicaciones tradicionales.
- b) sustitución de materiales no renovables o de uso intensivo de energía, agua o carbono por nuevos productos cuyo procesamiento y reciclaje sea seguro para la salud y el medio ambiente.
- c) desarrollo de nuevos productos (por ejemplo, para alimentos, productos farmacéuticos).
- d) mejorar la flexibilidad de la industria maderera para que sea capaz de transformar diversos tipos de madera, de dimensiones distintas a las tradicionales y produciendo productos innovadores que permitan abrir nuevos mercados.

Estas tendencias, generan oportunidades para la industria forestal en el medio plazo, siempre y cuando pueda acreditar un origen sostenible, y de ser posible, cercano, de su materia prima.

Los materiales innovadores a partir de madera ya están presentes en el mercado. El producto de madera de ingeniería de alta resistencia se convierte en un material de construcción clave para aplicaciones estructurales permanentes. Por ejemplo, la madera contralaminada (CLT) y varios tipos de tablero se utilizan cada vez más para prefabricar elementos de construcción.

La madera también está incorporándose a aplicaciones no tradicionales como tableros de partículas ultraligeros, fibras a base de celulosa en sustitución de textiles y plásticos sintéticos, carbón vegetal metalúrgico (biocoque) o embalajes.

Sin embargo, están surgiendo otros nuevos usos, como derivados químicos para aplicaciones farmacéuticas, dietéticas y cosméticas, o nuevos materiales a partir de ligninas modificadas.<sup>3</sup>

Los escenarios estudiados por Hurmekoski, et al. (2019) mostraron grandes diferencias en el impacto de la sustitución. Los factores de desplazamiento previstos para 2056 variaron desde 0,3 tC / tC hasta un máximo de 0,8 tC / tC. Dicho estudio mostró que la variación de la proporción de madera para aserrío y madera para pasta tuvo un impacto relativamente menor en comparación con el cambio del uso final de la pasta de papeles gráficos a textiles y, sobre todo, el uso de subproductos de energía a productos de larga duración.

El uso mejorado de la madera y la biomasa forestal requiere apoyo de la investigación científica, es aspectos como:

- Describir las propiedades tecnológicas de la madera y definir métodos para potenciar sus propiedades bioquímicas y tecnológicas para las especies arbóreas que puedan adquirir mayor relevancia ante el cambio climático. Esto incluye la investigación sobre compuestos químicos fundamentales con aplicación en sustitución de materiales clásicos y proporcionando soluciones respetuosas con el clima para su reutilización y reciclaje;
- Aplicación de madera de pequeñas dimensiones de frondosas;
- Ajustar las prácticas e intervenciones de gestión forestal para maximizar el suministro de madera hacia productos de madera de larga duración y necesidades de bioeconomía;
- Desarrollo de herramientas amigables para el usuario final / profesional para el modelado integrado de la productividad forestal y la dinámica del C en los sumideros forestales, y el balance emisiones de GEI / secuestro de CO<sub>2</sub> en la cadena de transformación, que deben incorporar un módulo económico;
- Desarrollo de directrices técnicas sobre el uso de madera técnica en construcción;
- Investigación sobre indicadores adecuados para pruebas y procedimientos rigurosos para el proceso de aprobación de nuevos productos, tecnologías o usos de madera, es decir, seguros para la salud y el medio ambiente;
- Esfuerzo de investigación para estimar con precisión la duración de la residencia C / vida útil de los productos de madera para todos los productos de madera importantes para cada país o región, p. Ej. tiempo de vida y patrón de descomposición;
- Comprender los factores desencadenantes de un mayor uso de la madera no energética por parte de varios actores y diseñar oportunidades de financiamiento y estímulos para apoyar un mejor uso de la madera y soluciones económicamente viables.

A continuación, se describirán tres cadenas de valor emergentes con potencial para liderar la transición hacia la una sociedad basada en la bioeconomía:

- Madera en Construcción
- Textiles basados en madera
- Productos químicos basados en madera.

## Madera en Construcción

Los productos de madera técnica (*engineered wood products*) son un ejemplo de una categoría de productos relativamente nueva que se considera que tiene un alto potencial de mitigación en el futuro. Estos productos incluyen madera contralaminada (CLT), madera de chapa laminada (LVL) y madera laminada encolada (glulam).

La mayor parte del CLT se fabrica en Europa, pero la producción está aumentando de manera constante, aunque lentamente, en América del Norte. Productos como CLT y LVL permitieron la construcción de los primeros edificios de madera de gran altura. En la última década, se construyeron edificios de más de seis pisos en Suecia, Canadá, Estados Unidos, Reino Unido y Noruega (Green et al, 2017) utilizando paneles CLT y LVL, entre otros productos a base de madera.

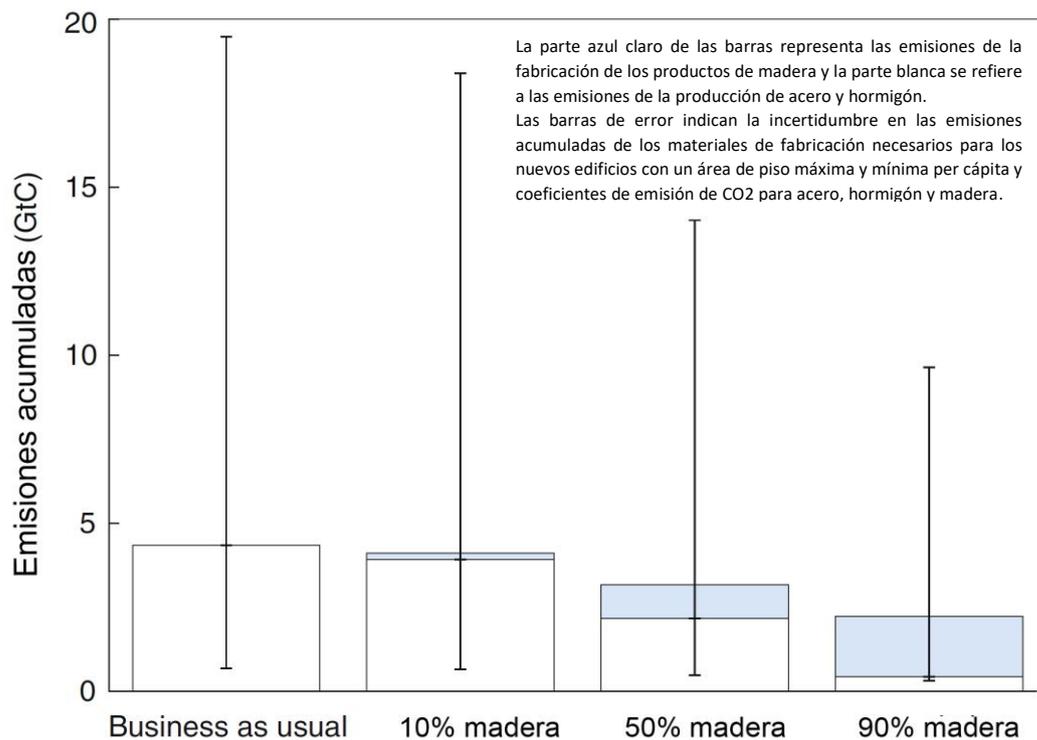
El trabajo de Churkina et al. (2020) combinó estos avances en las técnicas de construcción con la gran demanda proyectada de capacidad de vivienda para estimar cuánto podrían contribuir las ciudades a la mitigación del cambio climático mediante la sustitución a gran escala de edificios urbanos convencionales de mediana altura por alternativas a base de madera. Durante el período de 2020 a 2050, se necesitarán viviendas para 2.300 millones de nuevos habitantes urbanos. Este volumen de edificación sugiere que, si se empleara madera, podría convertirse en una poderosa herramienta para mitigar el cambio climático. La construcción de edificios de madera para nuevos habitantes urbanos podría almacenar hasta  $0,68 \text{ GtC año}^{-1}$  dependiendo del escenario y el área de piso promedio per cápita. Este enfoque aumentaría el sumidero de carbono existente en los productos de madera de larga duración, que ha fluctuado entre  $0,05$  y  $0,09 \text{ GtC año}^{-1}$  (Lauk et al. 2012). El carbono total almacenado durante treinta años sumaría entre 2 y 20 GtC en el caso de que la madera tuviera un 90% de cuota de mercado en esa construcción, entre 1 y 11 GtC en el caso que fuera del 50% y entre 0,25 y 2,3 GtC si la madera solo supusiera el 10%.

En la figura 30 se representan las emisiones de carbono acumuladas de la fabricación de materiales de construcción necesarios para edificios (estructuras primarias y cerramientos) para nuevos habitantes urbanos en 2020-2050. Estas estimaciones no tienen en cuenta la nueva fijación de carbono por parte de las masas forestales regeneradas. Tampoco incluyen el potencial de almacenamiento de carbono de la madera como medio para compensar las emisiones.

Esta transición a materiales de construcción de base biológica tendrá éxito como estrategia de mitigación del clima solo bajo dos condiciones. En primer lugar, los bosques deben gestionarse y aprovecharse de forma sostenible. En segundo lugar, la madera de los edificios existentes y, sobre todo, de los futuros debe poder recuperarse y reutilizarse como materia prima para la próxima generación de edificios o la fabricación de otros productos de consumo duraderos.

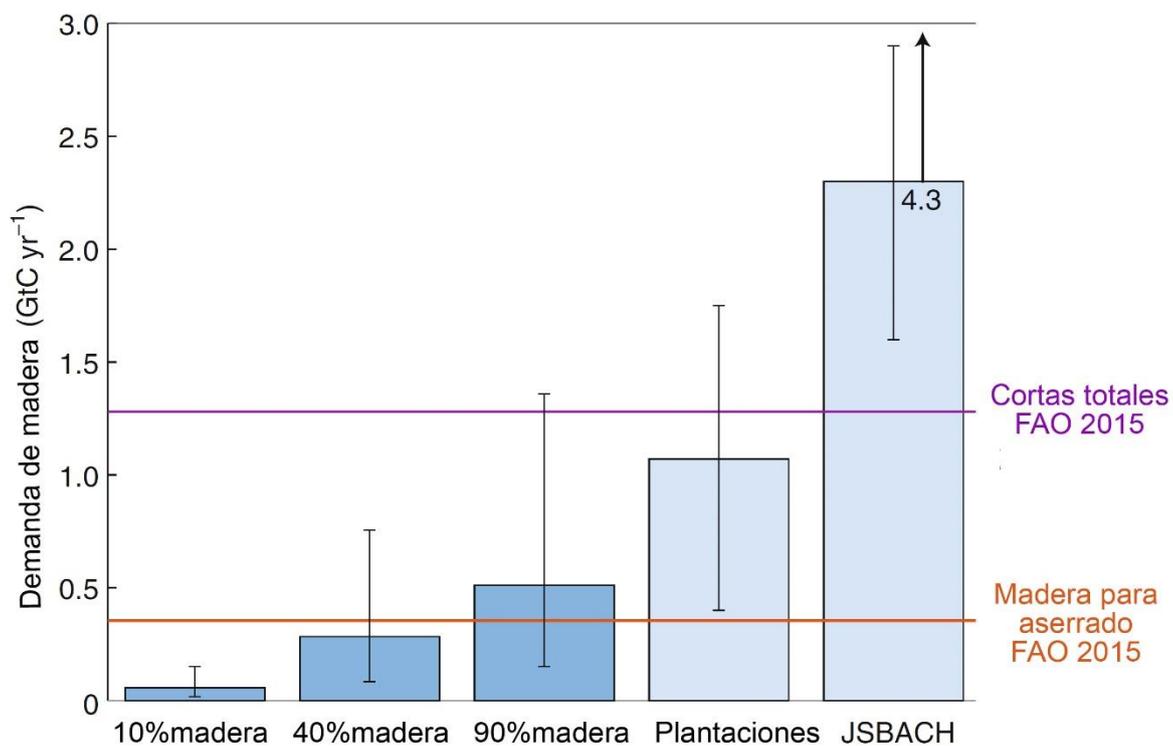
En la figura 31 se muestra la comparación de la demanda proyectada de madera necesaria para la construcción y el suministro de madera mundial. La demanda de madera (barras azul oscuro) y la oferta de madera (barras azul claro) se proporcionan para 2020–2050. Los aprovechamientos de madera proyectados para plantaciones forestales (Carle et al 2008) y por el modelo JSBACH (Yousefpour et al. 2019) se utilizan como aproximaciones al suministro potencial de madera. Las líneas horizontales indican el nivel de los aprovechamientos mundiales de madera en rollo y de madera destinada al aserrado de 2015, según lo documentado por la FAO (2015) y FAOSTAT.

Figura 30 Emisiones de C acumuladas de la fabricación de materiales necesarios para edificios de nuevos habitantes urbanos en 2020-2050



Churkina et al. 2020

Figura 31 Comparación de la demanda proyectada de madera necesaria para la construcción y el suministro de madera mundial.



## Textiles basados en madera

Otro desarrollo interesante desde la perspectiva de la sustitución es el uso de fibras a base de madera para textiles. Se están desarrollando nuevas tecnologías para utilizar madera para pasta, corrientes secundarias industriales y desechos agrícolas como materia prima para la producción de textiles. Algunas de las nuevas tecnologías aún tienen que ser operativamente viables a gran escala, pero representan alternativas más sostenibles a la producción textil actual. Estas nuevas tecnologías para producir fibras de madera para textiles vienen a resolver algunos de los problemas asociados con la producción de fibras de origen fósil (por ejemplo, poliéster) y fibras intensivas en GEI (por ejemplo, algodón).

Los productos biotextiles obtenidos a partir de fibras de madera certificadas son una importante innovación capaz de diversificar la cartera de productos de madera de las empresas y aumentar la sostenibilidad ambiental. En los últimos tiempos, el cultivo del algodón viene siendo criticado por la competencia de tierras agrícolas con productos alimentarios y por el alto consumo de agua estimado en 20.000 litros de agua por 1 kg de algodón (Antikainen et al., 2017; Hämmerle, 2011).

Para reducir los impactos ambientales del sector textil, las fibras celulósicas (*man made cellulosic fibers* MMCF) pueden ser una alternativa viable, como lo demuestra la creciente demanda de materia prima para MMCF en los últimos diez años (Hetemäki et al., 2017). En 2017, la producción de fibra textil en el mundo se estimó en 103 millones de toneladas, de las cuales menos del 10% se basó en fibras celulósicas (Fiber Year Consulting, 2018).

Los MMCF tienen menos impactos ambientales en comparación con el algodón, estimado en una huella hídrica de 10 a 20 veces menor (Shen et al., 2010). Además, los nuevos textiles a base de madera pueden reducir la huella de carbono incluso hasta cinco veces en comparación con las fibras sintéticas de origen fósil (Seppälä et al., 2019; Hetemäki et al., 2020).

Las industrias textiles están buscando materiales más ecológicos fabricados a partir de recursos renovables para responder a la creciente demanda de productos ecológicos de los consumidores. En la amplia gama de recursos renovables capaces de sustituir el uso de materiales sintéticos a base de aceite, la celulosa a base de madera es uno de los biomateriales con mayor potencial y que ya se ha utilizado en muchos filamentos textiles en las últimas décadas. Las tecnologías innovadoras basadas en el hilado en seco a alta velocidad de filamentos de celulosa nanofibrilada (CNF) permiten la producción de fibras de madera utilizando cantidades menores de productos químicos (disolventes) en comparación con otros productos elaborados con celulosa a partir de pulpa de madera como la viscosa.

El tamaño del mercado global de fibra ecológica se estimó en 37.240 millones de dólares en 2018, con un crecimiento continuo en los últimos años, y se espera que crezca sustancialmente hasta 2025 según las proyecciones de análisis de mercado. La importancia de la sostenibilidad para los consumidores globales al comprar ropa es alta. En 2017, el 56% de los consumidores estadounidenses considera que la sostenibilidad es importante en la compra de ropa, con un 22% calificando la sostenibilidad como muy importante y el 34% algo importante. En comparación, el 32% de los encuestados italianos calificó la sostenibilidad como muy importante al comprar ropa, y un 49% adicional la calificó como algo importante (O'Connell, 2019).

## Productos químicos basados en madera.

Un campo con mucho potencial para la entrada de productos y subproductos de transformación de la madera es la sustitución de productos de química “fósil”, plásticos y otros compuestos.

En este caso, se pueden disminuir las emisiones de GEI y, además, mejorar la circularidad. Como primer ejemplo, el *tall oil* o licor negro resultante del proceso de obtención de celulosa siempre se ha utilizado meramente como fuente de energía para la industria en las calderas de recuperación. Sin embargo, se le puede agregar valor fraccionándolo en diferentes compuestos químicos. Uno de estos derivados es la nafta, que puede usarse en la producción de biodiesel y bioplásticos (De Bruycker et al., 2014).

Algunos tipos de plásticos a base de madera ya están en el mercado y se utilizan, por ejemplo, como revestimiento para envases de cartón para bebidas. Además de utilizar una materia prima renovable procedente de cadenas de valor secundarias en la industria forestal, estos bioplásticos contribuyen a la circularidad al ser reciclables con cartón.

Otro compuesto químico que se puede obtener de las cadenas secundarias industriales es la lignina, que tiene el potencial de sustituir los fenoles de origen fósil en varios productos (Collins et al., 2019), como los adhesivos para paneles de madera (Kouisni et al., 2011). y biocompuestos (Tanase-Opedal et al., 2019), y también se está comenzando a procesar para producir bioplásticos y poliuretanos. Actualmente, se producen alrededor de 50 millones de toneladas de lignina kraft por año en todo el mundo (Lettner et al., 2018), pero se estima que solo el 1-2% se recupera y se utiliza como materia prima para distintos productos (Lora y Glasser, 2002). Este hecho indica que el potencial de crecimiento es aún muy grande.

Por otra parte, en algunos países, los biocombustibles, en particular el etanol de granos y otros materiales vegetales, por ejemplo, la caña de azúcar, ya se han convertido en una fuente importante de energía de transporte no convencional. Los biocombustibles derivados de la biomasa celulósica ofrecen una oportunidad aún más atractiva como alternativa a las fuentes de energía convencionales. Además, la celulosa de madera se puede usar en procesos de gasificación, por ejemplo, proceso de ciclo combinado de gasificación integrada, para producir gases sintéticos, incluido el hidrógeno. Estos gases pueden utilizarse además para producir energía directamente o como materia prima para producir una variedad de productos energéticos, que incluyen no solo etanol sino también biocrudo, utilizando procesos como Fisher-Tropsch. Las plantas de gasificación de leña se pueden construir como proyectos independientes, como se está considerando ahora en algunos lugares. Una posibilidad intrigante es que las nuevas biorrefinerías de gasificación reemplacen las viejas calderas de recuperación tradicionales en las plantas de celulosa existentes.

## Adaptación de la cadena de suministro al cambio climático

Más de las tres cuartas partes de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas con muchos sectores industriales provienen de sus cadenas de suministro, muchas empresas líderes están involucrando a sus proveedores en la gestión de las emisiones de GEI en un esfuerzo por reducir las emisiones más allá de sus propias operaciones (Líderes climáticos de la EPA, 2010). Los métodos de selección de proveedores están comenzando a incorporar consideraciones sobre el cambio climático y el compromiso de los proveedores para implementar estrategias de gestión de carbono para la reducción de sus emisiones de GEI en sus cadenas de suministro se está volviendo casi obligatorio (Carbon Disclosure Project, 2011). Se estima que las actividades logísticas crecerán un 23% entre 2002 y 2020, lo que representa el 18% de las emisiones de GEI europeas en 2020 (The Climate Group, 2008). Por lo tanto, la descarbonización de las redes de la cadena de suministro es de gran importancia para los esfuerzos de mitigación del cambio climático.

Aunque algunos autores han investigado cuestiones de gestión de la cadena de suministro (SCM) en vista del cambio climático (Dekker, et al. 2012; Halldórsson et al. 2010; Hitchcock, 2012), la bibliografía no muestra claramente cómo las redes de la cadena de suministro podrían estar mejor posicionadas para capitalizar las condiciones climáticas cambiantes.

Por ejemplo, se han investigado las implicaciones actuales y futuras del cambio climático con respecto a la eficiencia energética para la logística y la SCM (Halldórsson et al. 2010). Las restricciones de carbono se están integrando en el desarrollo de modelos para diversas decisiones de la cadena de suministro, como el diseño de redes (Chaabane et al 2011; Elhedhli et al., 2012; Ramudhin et al., 2010), la planificación del transporte (Sadegheih, et al., 2011), la selección de diferentes modos de transporte (Hoen, et al. 2012) y el control de inventarios (Hua, et al. 2011). También se han estudiado la combinación óptima de productos y las cantidades de producción en presencia de varios tipos diferentes de restricciones ambientales, incluidas las emisiones (Letmathe y Balakrishnan, 2005) o cuestiones de etiquetado de carbono de los productos (McKinnon, 2010).

Los aspectos del carbono también se están incorporando en las decisiones de la cadena de suministro, como las adquisiciones y la selección de proveedores (Hsu, et al. 2011; Shaw et al. 2012). Además, también se han estudiado aspectos del compromiso de los proveedores con la divulgación de información sobre el cambio climático (Jira et al., 2013). Los enfoques más holísticos examinan la huella de carbono en las cadenas de suministro (Sundarakani, et al. 2010) o incorporan parámetros de carbono en la toma de decisiones operativas con respecto a la gestión de compras, producción y inventario (Benjaafar, et al, 2013).

Otros estudios examinan los impactos ambientales de las cadenas de suministro minoristas tanto en línea como convencionales y examinan más a fondo los problemas metodológicos asociados con la auditoría de carbono de estos canales minoristas (Edwards, et al. 2011). Finalmente, también se han desarrollado algunos marcos de compensación entre las emisiones de carbono y los aspectos logísticos como los costes o el desempeño (Abdallah et al., 2012; Alves et al, 2011;

Un parámetro importante que afecta la relación entre el cambio climático y las operaciones de la cadena de suministro es implementación de nuevas estrategias de tecnología de la información y las comunicaciones (TIC), para ayudar a descarbonizar muchos procesos. En el caso, por ejemplo, del transporte de mercancías, las TIC pueden aumentar la utilización de la capacidad y, por lo tanto, conducir a reducciones en el uso de energía (Nash et al, 2009; Carbon Disclosure Project, 2011).

Por ejemplo, los sistemas de logística inteligente consisten en una gama de herramientas de software y hardware que monitorean, optimizan y administran las operaciones y se utilizan para el diseño de redes de transporte, la gestión eficiente de redes de distribución centralizadas, cambios de carga intermodal, conducción ecológica, etc. La adopción de tales tecnologías reduce el espacio de almacenamiento para el inventario, el consumo de combustible, el total de kilómetros recorridos y la frecuencia de los vehículos que viajan vacíos o parcialmente cargados. Las TIC pueden hacer una contribución importante a la respuesta global al cambio climático, reduciendo hasta un 15% las emisiones de Business-As-Usual en 2020, generando al mismo tiempo ahorros significativos de energía y combustible (The Climate Group, 2008).

*Tabla 17 Efectos del Cambio Climático y Adaptaciones en la cadena de suministro*

Efectos del Cambio Climático		
Regulatorios	Físicos	Mercado
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Acuerdos internacionales</li> <li>– Volatilidad de los precios de combustibles y energía</li> <li>– Análisis de la huella de carbono</li> <li>– Políticas de descarbonización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Meteorología extrema</li> <li>– Ciclos de Escasez de materia prima seguidos de excesos a causa de catástrofes</li> <li>– Efectos sobre los trabajadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aumento demanda productos verdes</li> <li>– Consumidores y clientes mucho más sensibles hacia aspectos ambientales</li> </ul>
Implicaciones para la Gestión de la Cadena de Suministro		
Estratégicas		Operativas
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nuevos criterios de selección de proveedores y 3PL</li> <li>– Reducción en kilometrajes para transporte y distribución (Proximidad)</li> <li>– Mejora en eficiencia energética</li> <li>– Adquisición de activos de bajo consumo energético</li> <li>– Reducción de energía en producción y servicios</li> <li>– Adopción de prácticas de etiquetaje de “carbono”</li> <li>– Reconfiguración de las redes logísticas</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Planificación de producción</li> <li>– Disrupciones</li> <li>– Mejora de rutas y turnos</li> <li>– Mejoras en control de inventario</li> <li>– Disminución de los requerimientos de material</li> <li>– Mayores costes de seguros</li> </ul>

## Impulso al papel de la Certificación Forestal

Los impactos del cambio climático en la gestión forestal pueden verse agravados por la falta de estructuras de gestión y gobernanza, lo que a su vez agravará las vulnerabilidades socioeconómicas. Es probable que las vulnerabilidades destacadas y los impactos socioeconómicos en los bosques se vean incrementadas en situaciones en las que las masas forestales están deficientemente gestionadas. Adicionalmente, se podría argumentar que esa situación es más probable en ausencia de cualquier tipo de rendición de cuentas por parte del gestor.

En el trabajo de Andersson et al. (2018) se destaca que los propietarios forestales entrevistados consideraron los aspectos de la producción económica como más orientadores que adaptativos per se. Los entrevistados indicaron que, la mayor parte de la adaptación llevada a cabo, había sido el resultado directo de cambios y preocupaciones directamente después de las grandes tormentas Gudrun (2005) y Per (2007), más que emprendidas en relación con la adaptación per se. En este sentido, también se planteó el problema de incluir una adaptación más sólida en relación con los puntos de vista de la producción: por lo tanto, los entrevistados señalaron, por ejemplo, que no eligen mantener en sus parcelas frondosas caducifolias por ninguna razón del cambio climático si no como exigencia de la certificación. En general, los entrevistados estuvieron de acuerdo en que la certificación fue el motivo más influyente en términos de establecer los requisitos a cumplir por su gestión.

De manera similar, los mismos autores, exponen que, para uno de los cambios de gestión más importantes en los últimos años desde el punto de vista ambiental en la gestión forestal sueca, la mayor consideración de los cursos de agua, ha sido crucial contar con estadísticas, cartografía y el Inventario Forestal Nacional.

Pasar del concepto de corta anual permitida a modelos avanzados de gestión, incluyendo planes de gestión forestal y servicios de asesoría ha sido posible gracias que la aplicación de sistemas de certificación (especialmente FSC) ha actuado como una fórmula adicional de rendición de cuentas, gobernanza y representación, lo que ha mejorado la multiplicidad de prácticas de gestión forestal y la influencia de las relaciones sociales.

Tradicionalmente, las respuestas se dan solo en relación con eventos específicos a medida que ocurren, sin tener en cuenta de manera sistemática y coherente los problemas que pueden resultar en menores pérdidas a largo plazo, como las tormentas y los daños causados por plagas.

Dados estos tipos de lógicas económicas que prevalecen en relación con la silvicultura, una forma potencial de incorporar la adaptación al cambio climático en la gestión forestal podría ser incluir requisitos de adaptación en los sistemas operativos económicos, como en las directrices de certificación forestal (Keskitalo, 2013).

- Las mejoras en mercado por “contribución” a lucha contra cambio climático exigen “demostrar” gestión forestal sostenible.
- Los estándares de certificación voluntaria de la gestión forestal sostenible tienen como objetivo mejorar la gestión forestal proporcionando incentivos tales como un mayor acceso al mercado o primas de precio para los productores certificados que cumplen con estas normas.
- Certificación es herramienta eficaz para mejorar la gestión sostenible de los bosques y un sistema de garantía que puede brindar confianza a los gobiernos, donantes, consumidores y el sector privado.
- Modo de asegurar de forma creíble (y comparable) que la cadena de suministro de productos forestales colabora con la acción climática.
- Los sistemas de certificación permiten desarrollar nuevas herramientas para evaluar el impacto de la gestión forestal en los servicios de los ecosistemas, incluida la captura de carbono y almacenamiento, conservación de la biodiversidad, servicios de cuencas, conservación de suelos y servicios recreativos.

## Referencias Bibliográficas

- Abdallah, T., Farhat, A., Diabat, A., Kennedy, S. (2012) Green supply chains with carbon trading and environmental sourcing: Formulation and life cycle assessment. *Applied Mathematical Modelling*, Volume 36, Issue 9, 2012, p 4271-4285, <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.11.056>
- Adger, W. N. (2003). Social capital, collective action, and adaptation to climate change.
- Adger, W. N., Brooks, N., Bentham, G., Agnew, M., Eriksen, S. (2004). New indicators of vulnerability and adaptive capacity. Tyndall Centre for Climate Change Research. Norwich, UK.
- Adger, W. N., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, D. R., Wreford, A. (2009). Are there social limits to adaptation to climate change? *Climatic Change*, 93(3-4), 335-354. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9520-z>
- Agel, L., Barlow, M., Qian, J. H., Colby, F., Douglas, E., Eichler, T. (2015). Climatology of daily precipitation and extreme precipitation events in the Northeast United States. *Journal of Hydrometeorology*, 16(6), 2537-2557. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0147.1>
- Akamani, K. (2012). A community resilience model for understanding and assessing the sustainability of forest-dependent communities. *Human Ecology Review*, 19(2), 99-109.
- Akerlof, K., Maibach, E. W., Fitzgerald, D., Ceden, A. Y., Neuman, A. (2013). Do people “personally experience” global warming, and if so how, and does it matter? *Global Environmental Change*, 23(1), 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.07.006>
- Alig RJ, Adams DM, McCarl BA (2002) For Ecol Manage 169:3-14 National Assessment Synthesis Team
- Alves G., Maclel P., Lim R., Magnani F., Arcoverde A., (2011) Towards the Evaluation of Environment and Business Trade-offs in Supply Chains, *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, Volume 275, 2011, Pages 5-21, <https://doi.org/10.1016/j.entcs.2011.09.002>
- Andersson E, Keskitalo ECH. (2018). Adaptation to climate change? Why business-as-usual remains the logical choice in Swedish forestry. *Glob Environ Change*. 48(1):76-85. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2017.11.004
- Andersson E, Keskitalo ECH, Bergstén S (2018b) In the eye of the storm: adaptation logics of forest owners in management and planning in Swedish areas. *Scandinavian Journal of Forest Research* 33: 800-808. <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1494305>
- André, K., Baird, J., Gerger Swartling, Å., Vulturius, G., Plummer, R. (2017). Analysis of Swedish forest owners' information and knowledge-sharing networks for decisionmaking: Insights for climate change communication and adaptation. *Environmental Management*, 59(6), 885-897. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0844-1>
- Andreozzi, H. A., Pekins, P. J., Langlais, M. L. (2014). Impact of moose browsing on forest regeneration in Northeast Vermont. *Alces*, 50, 67-79.
- Andrews, C (2016). Modeling and forecasting the influence of current and future climate on eastern North American spruce-fir (Picea-Abies) forests [Unpublished master's thesis]. University Maine.
- Angeler, D. G., Folke, C., Cumming, G. S., Allen, C. R., Uden, D. R., Twidwell, D. (2016). Quantifying spatial resilience. *Journal of Applied Ecology*, 53(3), 625-635. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12634>
- Antikainen, R., Dalhammar, C., Hildén, M., Judl, J., Jääskeläinen, T., Kautto, P., Koskela, S., Kuisma, M., Lazarevic, D., Mäenpää, I., Ovaska, J.P., Peck, P., Rodhe, H., Temmes, A, Thidell, Å. (2017) Renewal of Forest Based Manufacturing towards a Sustainable Circular Bioeconomy Reports of the Finnish Environment Institute, 13/2017

- Armitage, D., Berkes, F., Dale, A., Kocho-Schellenberg, E., Patton, E. (2011). Co-management and the co-production of knowledge: Learning to adapt in Canada's Arctic. *Global Environmental Change*, 21, 995-1004. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.04.006>
- Armitage, D., Marschke, M., Plummer, R. (2008). Adaptive co-management and the paradox of learning. *Global Environmental Change*, 18(1), 86–98. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.07.002>
- Baca, M., Läderach, P., Hagggar, J., Schroth, G., Ovalle, O. (2014). An integrated framework for assessing vulnerability to climate change and developing adaptation strategies for coffee growing families in Mesoamerica. *PLoS ONE*, 9(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088463>
- Baccini, A., W. Walker, L. Carvalho, M. Farina, D. Sulla-Menashe, R.A. Houghton. (2017). Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. *Science* 2017 Vol. 358, Issue 6360, pp. 230-234 <https://doi.org/10.1126/science.aam5962>
- Backstrand, K. (2003). Civic science for sustainability: Reframing the role of experts, policymakers and citizens in environmental governance. *Global Environmental Politics*, 3(4), 24–41.
- Baker, J. S., B.L. Sohngen, S. Ohrel, and A.A. Fawcett. (2017). Economic analysis of greenhouse gas mitigation potential in the US forest sector. in RTI press policy brief [Internet]. RTI Press, Research Triangle Park, NC.
- Bandura A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. New York, NY: Worth Publishers.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Bardsley, D. K., Sweeney, S. M. (2010). Guiding climate change adaptation within vulnerable natural resource management systems. *Environmental Management*, 45(5), 1127-1141. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9487-1>
- Barrette, M., Bélanger, L., De Grandpré, L., Ruel, J. C. (2014). Cumulative effects of chronic deer browsing and clear-cutting on regeneration processes in second-growth white spruce stands. *Forest Ecology and Management*, 329, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.06.020>
- Bartholomew, S., Smith, A. (2006). Improving survey response rates from chief executive officers in small firms: The importance of social networks. *Entrepreneurship Theory and Practice*, January, 83–96. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6520.2006.00111.x>
- Bazeley, P., K. Jackson. (2013). *Qualitative data analysis with NVivo*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc.
- Beier, C. M., Patterson, T. M., Iij, F. S. C. (2008). Ecosystem services and emergent vulnerability in managed ecosystems: A geospatial decision-support tool. *Ecosystems*, 11, 923–938. <https://doi.org/10.1007/s10021-008-9170-z>
- Ben Naylor J., Naim M.N., Berry, D. (1999); Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain. *International Journal of Production Economics*, 1999, vol. 62, issue 1-2, 107-118
- Benjaafar, S., Li, Y., & Daskin, M. (2013). Carbon footprint and the management of supply chains: Insights from simple models. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 10(1), 99-116. [6248180]. <https://doi.org/10.1109/TASE.2012.2203304>
- Berendt, F., Fortin, M., Jaeger, D., Schweier, J. (2017) How Climate Change Will Affect Forest Composition and Forest Operations in Baden-Württemberg—A GIS-Based Case Study Approach. *Forests* 2017, 8, 298 <https://doi.org/10.3390/f8080298>
- Bergstrand, K., Mayer, B., Brumback, B., Zhang, Y. (2015). Assessing the relationship between social vulnerability and community resilience to hazards. *Social Indicators Research*, 122(2), 391–409. <https://doi.org/10.1007/s11205-014-0698-3>

- Berkes, F., Ross, H. (2013). Community resilience: Toward an integrated approach. *Society and Natural Resources*, 26(1), 5–20. <https://doi.org/10.1080/08941920.2012.736605>
- Bernier, P., Schoene, D. (2009). Adapting forests and their management to climate change. *Unasylva*, 60(231), 5–11. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0446-5>
- Bierbaum, R., Smith, J. B., Lee, A., Blair, M., Carter, L., Chapin, F. S., ... Verduzco, L. (2013). A comprehensive review of climate adaptation in the United States: More than before, but less than needed. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(3), 361–406. <https://doi.org/10.1007/s11027-012-9423-1>
- Birdsey R, Duffy P, Smyth C, Kurz WA, Dugan AJ, Houghton R. (2018) Climate, economic, and environmental impacts of producing wood for bioenergy *Environ. Res. Lett.* 13 050201 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab9d5>
- Björklund, J., Seftigen, K., Schweingruber, F., Fonti, P., von Arx, G., Bryukhanova, M.V., Cuny, H.E., Carrer, M., Castagneri, D. and Frank, D.C. (2017), Cell size and wall dimensions drive distinct variability of earlywood and latewood density in Northern Hemisphere conifers. *New Phytol*, 216: 728-740. <https://doi.org/10.1111/nph.14639>
- Blennow, K., Persson, J. (2009). Climate change: Motivation for taking measure to adapt. *Global Environmental Change*, 19(1), 100–104. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.003>
- Blennow, K., Persson, J., Goncalves, L., Borys, A., Dutca, I., Hynynen, J., Janeczko, E., Lyobenova, M., Merganic, J., Merganicova, K., Peltoniemi, M., Petr, M., Reboredo, F., Vacchiano, G., Reyer, C. (2020). The role of beliefs, expectations and values in decision-making favoring climate change adaptation: implications for communications with European forest professionals. *Environmental Research Letters*. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc2fa>
- Blennow, K., Persson, J., Tome, M., Hanewinkel, M. (2012). Climate change: Believing and seeing implies adapting. *PloS One*, 7(4), 1–10. <https://doi.org/10.1371/Citation>
- Boag, A. E., Hartter, J., Hamilton, L. C., Christoffersen, N. D., Stevens, F. R., Palace, M. W. (2018). Climate change beliefs and forest management in eastern Oregon. *Ecology and Society*, 23(4). <https://doi.org/10.5751/ES-10355-230401>
- Boby, L. A., Hubbard, W., Megalos, M., Morris, H. L. C. (2016). Southern foresters' perceptions of climate change: Implications for educational program development. *Journal of Extension*, 54(6), 1–10.
- Bodirsky BL, Rolinski S, Biewald A, Weindl I, Popp A, Lotze-Campen H (2015) Global Food Demand Scenarios for the 21st Century. *PLoS ONE* 10(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139201>
- Bogdanski, B., Sun, L., Peter, B., Stennes, B. (2011). Markets for forest products following a large disturbance: opportunities and challenges from the mountain pine beetle outbreak in western Canada. Natural Resources Canada. Canadian Forest Service. Pacific Forestry Centre. Information Report BC-X-429
- Bostrom, A., Böhm, G., O'Connor, R. E. (2013). Targeting and tailoring climate change communications. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 4(5), 447–455. <https://doi.org/10.1002/wcc.234>
- Bradley, A., Forrester, A. (2018). Analysis of a British Columbia resource road's vulnerability to Climate Change: In-SHUCK-ch Forest Service road PIEVC case study. Quebec, Canada: FPInnovations.
- Bradley, G. L., Babutsidze, Z., Chai, A., Reser, J. P. (2020). The role of climate change risk perception, response efficacy, and psychological adaptation in pro-environmental behavior: A two nation study. *Journal of Environmental Psychology*, 68(101410). <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2020.101410>
- Brandt, L. A., Butler, P. R., Handler, S. D., Janowiak, M. K., Shannon, P. D., Swanston, C. W. (2017). Integrating science and management to assess forest ecosystem vulnerability to climate change. *Journal of Forestry*, 115(May), 212–221. <https://doi.org/10.5849/jof.15-147>
- Braun, M., Fritz, D., Weiss, P., Braschel, N., Büchsenmeister, R., Freudenschuß, A., Gschwantner, T., Jandl, R., Ledermann, T., Neumann, M., Pözl, W., Schadauer, K., Schmid, C., Schwarzbauer, P., Stern, T. (2016).

- A holistic assessment of greenhouse gas dynamics from forests to the effects of wood products use in Austria. *Carbon Management* 7(5–6): 271–283. <https://doi.org/10.1080/17583004.2016.1230990>
- Brecka, A. F. J., Shahi, C., Chen, H. Y. H. (2018). Climate change impacts on boreal forest timber supply. *Forest Policy and Economics*, 92(March), 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.03.010>
- Brody, S. D., Zahran, S., Vedlitz, A., Grover, H. (2008). Examining the relationships between physical vulnerability and public perceptions of global climate change in the United States. *Environment and Behavior*, 40(1), 72–95. <https://doi.org/10.1177/0013916506298800>
- Brooks, N., Adger, W. N., Kelly, P. M. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, 15(2), 151–163. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.006>
- Brown, K., Westaway, E. (2011). Agency, capacity, and resilience to environmental change: Lessons from human development, well-being, and disasters. *Annual Review of Environment and Resources*, 36(1), 321–342. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-052610-092905>
- Brown, P. J., DeGaetano, A. T. (2011). A paradox of cooling winter soil surface temperatures in a warming northeastern United States. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(7), 947–956. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.02.014>
- Brunet-Navarro P, Jochheim H, Muys B (2017) The effect of increasing lifespan and recycling rate on carbon storage in wood products from theoretical model to application for the European wood sector. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang* 22:1193–1205. <https://doi.org/10.1007/s11027-016-9722-z>
- Bubela, T., Nisbet, M. C., Borchelt, R., Brunger, F., Critchley, C., Einsiedel, E., ... Jones, S. A. (2009). Science communication reconsidered. *Nature Biotechnology*, 27(6), 514–519.
- Buongiorno, J., Zhu S., Zhang D., Turner, J., Tomberlin D., (2003) *The Global Forest Products Model (GFPM): Structure, Estimation, Applications*. Academic Press, San Diego. 301 pp.
- Buongiorno, J., Raunikar, R., Zhu, S. (2011) Consequences of increasing bioenergy demand on wood and forests: An application of the Global Forest Products Model. *Journal of Forest Economics*: Vol. 17: No. 2, pp 214–229. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfe.2011.02.008>
- Buongiorno, J., Zhu, S. (2013) Consequences of carbon offset payments for the global forest sector, *Journal of Forest Economics*: Vol. 19: No. 4, pp 384–401. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfe.2013.06.005>
- Burkett, V., Ritschard, R., McNulty, S., O'Brien, J.J., Abt, R., Jones, J., Hatch, U., Murray, B., Jagtap, S. & Cruise, J. (2000). Potential Consequences of Climate Variability and Change for the southeastern United States. pp 137–166 In *The Potential Consequences of Climate Variability and Change: Foundation Report, Report by the National Assessment Synthesis Team for the US Global Change Research Program*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 620pp.
- Butler, B.J. (2018). *Forests of Maine, 2017 (Resource Update FS-160)*. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 3 p. <https://doi.org/10.2737/FS-RU-160>.
- Camia A, Robert N, Jonsson R, Pilli R, García-Condado S, López-Lozano R, van der Velde M, Ronzon T, Gurría P, M'Barek R, Tamosiunas S, Fiore G, Araujo R, Hoepffner N, Marelli L, Giuntoli J. (2018) Biomass production, supply, uses and flows in the European Union. First results from an integrated assessment, EUR 28993 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN978-92-79-77237-5. <https://doi.org/10.2760/53952 0. JRC109869>
- Carle, J., Holmgren, P. (2008) Wood from planted forests. A global outlook 2005–2030. *For. Prod. J.* 58, 6–18.
- Carbon Disclosure Project (2011) *Supply Chain Report 2011. Migrating to a low carbon economy through leadership and collaboration*. 36 p

- Chaabane, A., Ramudhin, A., Kharoune, M., Paquet, M. (2011) Trade-off model for carbon market sensitive green supply chain network design. *International Journal of Operational Research*, 2011, vol. 10, issue 4, 416-441
- Chakraborty, A., Saha, S., Sachdeva, K., Joshi, P. K. (2018). Vulnerability of forests in the Himalayan region to climate change impacts and anthropogenic disturbances: A systematic review. *Regional Environmental Change*, 18(6), 1783–1799. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1309-7>
- Chang, W. Y., Lantz, V. A., Hennigar, C. R., Maclean, D. A. (2012). Economic impacts of forest pests: A case study of spruce budworm outbreaks and control in New Brunswick, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 42(3), 490–505.
- Chapman, D., Trott, C., Silka, L., Lickel, B., Clayton, S. (2011). Psychological perspectives on community resilience and climate change: Insights, examples, and directions for future research. *Psychology and Climate Change*, 29–30.
- Chatrchyan, A. M., Erlebacher, R. C., Chaopricha, N. T., Chan, J., Tobin, D., Allred, S. B. (2017). United States agricultural stakeholder views and decisions on climate change. *Climate Change*, 8. <https://doi.org/10.1002/wcc.469>
- Chen, H. Y. H., Luo, Y. (2015). Net aboveground biomass declines of four major forest types with forest ageing and climate change in western Canada's boreal forests. *Global Change Biology*, 21(10), 3675–3684.
- Christopher, (1999) *Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Cost and Improving Service* (Second Edition), *International Journal of Logistics Research and Applications*, 2:1, 103-104, DOI: <https://doi.org/10.1080/13675569908901575>
- Chuang, W. C., Garmestani, A., Eason, T. N., Spanbauer, T. L., Fried-Petersen, H. B., Roberts, C. P., ... Allen, C. R. (2018). Enhancing quantitative approaches for assessing community resilience. *Journal of Environmental Management*, 213, 353–362. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.083>
- Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C.P.O., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B.K, Graedel, T.E., Schellnhuber, H.J. (2020) Buildings as a global carbon sink. *Nat Sustain* 3, 269–276 2020. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>
- Cialdini, R. B., Reno, R. R., Kallgren, C. A. (1990). A focus theory of normative conduct: Recycling the concept of norms to reduce littering in public places. *Journal of Personality and Social Psychology*, 58(6), 1015–1026. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.58.6.1015>
- Collins MN, Nechifor M, Tanasă F, Zănoagă M, McLoughlin A, Strózyk MA, Culebras M, Teacă CA. (2019) Valorization of lignin in polymer and composite systems for advanced engineering applications - A review. *Int J Biol Macromol*. 2019 Jun 15;131:828-849. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.069>
- Contosta, A. R., Casson, N. J., Garlick, S., Nelson, S. J., Ayres, M. P., Burakowski, E. A., ... Thornbrugh, C. (2019). Northern forest winters have lost cold, snowy conditions that are important for ecosystems and human communities. *Ecological Applications*, 29(7), 1–24. <https://doi.org/10.1002/eap.1974>
- Corbett, L.J., Withey, P., Lantz, V.A., Ochuodho, T.O. (2016) The economic impact of the mountain pine beetle infestation in British Columbia: provincial estimates from a CGE analysis, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 89, Issue 1, January 2016, Pages 100–105, <https://doi.org/10.1093/forestry/cpv042>
- Correia, D. (2010). The certified Maine North Woods, where money grows from trees. *Geoforum*, 41(1), 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2009.03.001>
- Creswell, J. W., Poth, C. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). Los Angeles: SAGE Publications.
- Creswell, J. W. (2015). *A concise introduction to mixed methods research*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc.

- Cronbach, L.J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-324.
- Curtis, R., Rushmore, F. (1958). Some effects of stand density and deer browsing on reproduction in an Adirondack hardwood stand. *Journal of Forestry*, 56(2), 116–121. <https://doi.org/10.1093/jof/56.2.116>
- Cutter, S. L., Mitchell, J. T., Scott, M. S. (2000). Revealing the vulnerability of people and places: A case study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of the American Association of Geographers*, 90(4), 713–737. <https://doi.org/10.4000/rccs.165>
- Cvetkovich, G., Lofstedt, R.E. (1999). *Social trust and the management of risk*. London: Earthscan.
- Daigneault A., (2019c). A Shared Socio-economic Pathway Approach to Assessing the Future of the New Zealand Forest Sector University of Maine. School of Forest Resources Version: May 9, 2019
- Daigneault A., Favero A. (2019b) Global Forest Management, Carbon Sequestration and Bioenergy Supply under Alternative Shared Socioeconomic Pathways. Selected Paper prepared for presentation at the 2019 Agricultural & Applied Economics Association Annual Meeting, Atlanta, GA, July 21-23
- Daigneault A., Johnston C., Korosuo A., Baker J.S., Forsell N., Prestemon J.P., Abt R.C. (2019) Developing Detailed Shared Socioeconomic Pathway (SSP) Narratives for the Global Forest Sector. *Journal of Forest Economics*, 2019, 34: 7–45
- Daigneault, A., Sohngen, B., Sedjoi, R. (2012), *Environ. Sci. Technol.* 2012, 46, 11, 5664–5671 <https://doi.org/10.1021/es2030142>
- Daioglou, V., Doelman, J. C., Wicke, B., Faaij, A., & van Vuuren, D. P. (2019). Integrated assessment of biomass supply and demand in climate change mitigation scenarios. *Global Environmental Change*, 54, 88– 101. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.11.012>
- Dale, V., Joyce, L., McNulty, S., Neilson, R., Ayres, M., Flannigan, M., ... Wotton, M. (2001). Climate change and forest disturbances. *BioScience*, 51(9), 723–734.
- Dare, M. (Lain), Schirmer, J., Vanclay, F. (2014). Community engagement and social license to operate. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 32(3), 188–197. <https://doi.org/10.1080/14615517.2014.927108>
- De Bruycker et al., 2014 De Bruycker, R., Anthonykutty, J., Linnekoski, J., Harlin, A., Lehtonen, J., Van Geem, K., Räsänen, J. (2014). Assessing the potential of crude tall oil for the production of green-base chemicals: an experimental and kinetic modeling study. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(48), 18430–18442. <https://doi.org/10.1021/ie503505f>
- De Groot, J. I. M., Steg, L. (2007). Value orientations and environmental beliefs in five countries: Validity of an instrument to measure egoistic, altruistic and biospheric value orientations. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 38(3), 318-332. <https://doi.org/10.1177/0022022107300278>
- De Sherbinin, A., Chai-Onn, T., Jaiteh, M., Mara, V., Pistolesi, L., Schnarr, E., Trzaska, S. (2015). Data integration for climate vulnerability mapping in West Africa. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2561–2582. <https://doi.org/10.3390/ijgi4042561>
- Dekker, R., Bloemhof, J., Mallidis, I. (2012) Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, vol. 219(3), pages 671-679. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.11.010>
- Delacre, M., Lakens, D., Leys, C. (2017). Why psychologists should by default use Welch’s ttest instead of Student’s t-test. *International Review of Social Psychology*, 30(1), 92. <https://doi.org/10.5334/irsp.82>
- Dellink et al., 2016 R. Dellink, R., Chateau, J., Lanzi, E., Magné, B., (2016) Long-term economic growth projections in the Shared Socioeconomic Pathways. *Global Environ. Change* (2016) <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.06.004>

- Doelman, J.C., Stehfest, E., Tabeau, A., van Meijl, H., Lassaletta, L., Neumann-Hermans, K., Gernaat, D.E.H.J., Harmsen, M., Daioglou, V., Biemans, H., van der Sluis, S., van Vuuren, D.P. (2018). Exploring SSP land-use dynamics using the IMAGE model: Regional and gridded scenarios of land-use change and land-based climate change mitigation. *Global Environmental Change*, 48 (January), pp. 119-135, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.014>
- Downing, T. E., Patwardhan, A., Klein, R. J., Mukhala, E., Stephen, L., Winograd, M., Ziervogel, G. (2005). *Assessing vulnerability for climate adaptation*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Duveneck, M. J., Scheller, R. M. (2015). Climate-suitable planting as a strategy for maintaining forest productivity and functional diversity. *Ecological Applications*, 25(6), 1653–1668.
- Duveneck, M. J., Thompson, J. R. (2017). Climate change imposes phenological trade-offs on forest net primary productivity. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 122(9), 2298–2313.
- Duveneck, M. J., Thompson, J. R. (2019). Social and biophysical determinants of future forest conditions in New England: Effects of a modern land-use regime. *Global Environmental Change*, 55, 115–129. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.01.009>
- Duveneck, M. J., Thompson, J. R., Gustafson, E. J., Liang, Y., de Bruijn, A. M. G. (2017). Recovery dynamics and climate change effects to future New England forests. *Landscape Ecology*, 32(7), 1385–1397.
- Easterling, W., P. Aggarwal, P. Batima, K. Brander, L. Erda, M. Howden, A. Kirilenko, J. Morton, J.-F. Soussana, S. Schmidhuber, F. Tubiello, (2007) Food, fibre and forest products. In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson, Eds. Cambridge University Press, pp. 273-313
- Ebi, K. L., Kovats, R. S., Menne, B. (2006). An approach for assessing human health vulnerability and public health interventions to adapt to climate change. *Environmental Health Perspectives*, 114(12), 1930–1934. <https://doi.org/10.1289/ehp.8430>
- Economic Geography*, 79(4), 387–404. <https://doi.org/10.1111/j.1944-8287.2003.tb00220.x>
- Eisenbies, M. H., Aust, W. M., Burger, J. A., Adams, M. B. (2007). Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians-A review. *Forest Ecology and Management*, 242(2–3), 77–98.
- Erb, KH., Kastner, T., Plutzer, C. (2018) Unexpectedly large impact of forest management and grazing on global vegetation biomass. *Nature* 553, 73–76 (2018). <https://doi.org/10.1038/nature25138>
- Eriksson, L. (2014). Risk perception and responses among private forest owners in Sweden. *Small-Scale Forestry*, 13(4), 483–500. <https://doi.org/10.1007/s11842-014-9266-6>
- Eriksson, L. (2018). Conventional and new ways of governing forest threats: A study of stakeholder coherence in Sweden. *Environmental Management*, 61(1), 103–115. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0951-z>
- Eriksson, L., Klapwijk, M. J. (2019). Attitudes towards biodiversity conservation and carbon substitution in forestry: A study of stakeholders in Sweden. *Forestry*, 92(2), 219–229 <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz003>
- Evans, A. M., Perschel, R. (2009). A review of forestry mitigation and adaptation strategies in the Northeast U.S. *Climatic Change*, 96(1), 167–183. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9569-3>
- FAO (2015) *Global Forest Resources Assessment 2015*. FAO Forestry Paper No. UN Food and Agriculture Organization, Rome.
- FAO (2016) *FAOSTAT-Forestry Database*. Food and Agriculture Organization. Rome
- FAO, (2017) *FAO yearbook of forest products*. Food and Agriculture Organization (FAO). Rome

- Favero, A., Mendelsohn, R. (2017) The land-use consequences of woody biomass with more stringent climate mitigation scenarios, *Journal of Environmental Protection* 8, 61-73. <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2017.81006>
- Favero, A., Mendelsohn, R., Sohngen, B., (2018) Can the Global Forest Sector Survive 11 °C Warming? *Agricultural and Resource Economics Review* 47/2 (August 2018) 388–413 <https://doi.org/10.1017/age.2018.15>
- Fei, S., Steiner, K.C. (2007). Evidence for increasing red maple abundance in the eastern United States. *Forest Science*, 53: 473-477.
- Fellmann, T. (2012). The assessment of climate change-related vulnerability in the agricultural sector: Reviewing conceptual frameworks. In A. Meybeck, J. Lankoski, S. Redfern, N. Azzu, N. Gitz (Eds.), *Building resilience for adaptation to climate change in the agricultural sector* (pp. 37–62). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Ferreira, J., Lennox, G.D., Gardner, T.A, Thomson, J.R., Berenguer, E., Lees, A.C., Mac Nally, R., Aragão, L.E.O.C., Ferraz, S.F.B., Louzada, J., Moura, N.A., Oliveira, V.H.F, Pardini, R., Solar, R.R.C., Vieira I.M.C., Barlow, J. (2018). Carbon-focused conservation may fail to protect the most biodiverse tropical forests. *Nature Climate Change* (2018). <https://www.nature.com/articles/s41558-018-0225-7>
- Fiber Year Consulting (2018) The Fiber Year 2018: World Survey on Textiles & Nonwovens <https://www.thefiberyear.com/fileadmin/pdf/TFY2018TOC.pdf>
- Fischer, A. P. (2018). Forest landscapes as social-ecological systems and implications for management. *Landscape and Urban Planning*, 177, 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.05.001>
- Fischer, A. P., Frazier, T. G. (2018). Social vulnerability to climate change in temperate forest areas: New measures of exposure, sensitivity, and adaptive capacity. *Annals of the American Association of Geographers*, 108(3), 658–678. <https://doi.org/10.1080/24694452.2017.1387046>
- Fischer, A. P., Paveglio, T., Carroll, M., Murphy, D., Brenkert-Smith, H. (2013). Assessing social vulnerability to climate change in human communities near public forests and grasslands: A framework for resource managers and planners. *Journal of Forestry*, 111(5), 357–365. <https://doi.org/10.5849/jof.12-091>
- Fischlin, A., Midgley, G.F., Price, J.T., Leemans, R., Gopal, B., Turley, C., Rounsevell, M.D.A., Dube, O.P., Tarazona, J., Velichko, A.A. (2007). Ecosystems, their properties, goods and services. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.). *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. p. 211–272.
- Fishbein, M., Ajzen, I. (2010). *Predicting and changing behavior: The reasoned action approach*. London: Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203838020>
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., Rockström, J. (2010). Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, 15(4), 20.
- Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C. S., Walker, B. (2002). Resilience and sustainable development: Building adaptive capacity in a world of transformations. *Ambio*, 31(5), 437–440. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.5.437>
- Ford, C. R., Laseter, S. H., Swank, W. T., Vose, J. M. (2011). Can forest management be used to sustain water-based ecosystem services in the face of climate change? *Ecological Applications*, 21(6), 2049–2067.
- Forsell, N., Korosuo, A., Havlík, P., Valin, H., Lauri, P., Gusti, M., et al. (2016). *Study on Impacts on Resource Efficiency of Future EU Demand for Bioenergy (ReceBio)*. Final report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 43.

Forest Europe (2020). *Adaptation to Climate Change in Sustainable Forest Management in Europe*, Liaison Unit Bratislava, Zvolen, 2020

Frazier, T. G., Thompson, C. M., Dezzani, R. J. (2014). A framework for the development of the SERV model: A Spatially Explicit Resilience-Vulnerability model. *Applied Geography*, 51, 158–172. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.04.004>

Frazier, T. G., Thompson, C. M., Dezzani, R. J., Butsick, D. (2013). Spatial and temporal quantification of resilience at the community scale. *Applied Geography*, 42, 95–107. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.05.004>

Fricko, O., Havlik, P., Rogelj, J., Klimont, Z., Gusti, M., Johnson, N., Kolp, P., Strubegger, M., Valin, H., Amann, M., Ermolieva, T., Forsell, N., Herrero, M., Heyes, C., Kindermann, G., Krey, V., Mccollum, D.L., Obersteiner, M., Pachauri, S., Rao, S., Schmid, E., Schoepp, W., Riahi, K., (2016). SSP2: A middle of the road scenario for the 21st century. *Global Environ. Change* SSP2: a middle -of -the -road scenario for the 21st century. *Global Environ. Change* (2016), <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.004>

Friedland, A. J., Jones, R. T., Gross, T. F., Blackmer, S. D. (2004). Towards a sustainable Northern Forest: Forest health and potential threats. *Journal of Sustainable Forestry*, 18(1), 1–22. [https://doi.org/10.1300/J091v18n01\\_01](https://doi.org/10.1300/J091v18n01_01)

Fulton, D. C., Manfredo, M. J., Lipscomb, J. (1996). Wildlife value orientations: A conceptual and measurement approach. *Human Dimensions of Wildlife*, 1(2), 24–47. <https://doi.org/10.1080/10871209609359060>

Galik, C. S., Abt, R. C. (2015). Sustainability guidelines and forest market response: An assessment of European Union pellet demand in the south-eastern United States. *GCB Bioenergy*, 8, 658–669. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12273>

G.C. Gallopín G.C, Hammond, A., Raskin, P., Swart R. (1997) *Branch Points: Global Scenarios and Human Choice*. Stockholm Environment Institute, Stockholm

Gallopín, G.C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16, 293–303. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>

Garvin, T. (2001). Analytical paradigms: The epistemological distances between scientists, policy makers, and the public. *Risk Analysis*, 21(3), 443–456. <https://doi.org/10.1111/0272-4332.213124>

Gifford, R., Kormos, C., McIntyre, A. (2011). Behavioral dimensions of climate change: Drivers, responses, barriers, and interventions. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(6), 801–827. <https://doi.org/10.1002/wcc.143>

Gootee et al., 2010 Gootee, R.S., Blatner, K.A., Baumgartner, D.M., Carroll, M.S., Weber, E.P. (2010) Choosing what to believe about forests: differences between professional and non-professional evaluative Criteria. *Small-scale For.*, 9 (2010), pp. 137-152, <https://doi.org/10.1007/s11842-010-9113-3>

Gootee, R., Blatner, K., Baumgartner, D., Carroll, M., Weber, E. (2011). Equitable regulation of private forests. *Small-Scale Forestry*, 10, 457–472. <https://doi.org/10.1007/s11842-011-9161-3>

Granger Morgan, M., Pitelka, L. F., Shevliakova, E. (2001). Elicitation of expert judgments of climate change impacts on forest ecosystems. *Climatic Change*, 49(3), 279–307.

Grassi, G., House, J., Dentener, F., Federici, S., den Elzen, M., & Penman, J. (2017). The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature Climate Change*, 7(3), 220-228. <https://doi.org/10.1038/nclimate3227>

Green, M., Taggart, J. (2017) *Tall Wood Buildings : Design, Construction and Performance*. Birkhäuser 176p. <https://doi.org/10.1515/9783035604764>

- Grimble, R., Wellard, K. (1997). Stakeholder methodologies in natural resource management: A review of principles, contexts, experiences and opportunities. *Agricultural Systems*, 55(2), 173–193. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(97\)00006-1](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(97)00006-1)
- Grothmann, T., Patt, A. (2005). Adaptive capacity and human cognition: The process of individual adaptation to climate change. *Global Environmental Change*, 15, 199–213. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.01.002>
- Guariguata, M. R., Locatelli, B., Haupt, F. (2012). Adapting tropical production forests to global climate change: Risk perceptions and actions. *International Forestry Review*, 14(1), 27–38. <https://doi.org/10.1505/146554812799973226>
- Guidi, C., Di, G., Stefano, M. (2018). An overview of proven climate change vulnerability assessment tools for forests and forest-dependent communities across the globe: A literature analysis. *Journal of Forestry Research*, 29(5), 1167–1175. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0611-z>
- Gurning, R.O.S., Cahoon, S., Nguyen, H.O., & Achmadi, T. (2011). Mitigating maritime disruptions: Evidence from the Australian-Indonesian wheat supply chain. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 3(4), 406–429. <http://dx.doi.org/10.1504/IJSTL.2011.041135>
- Haapakoski, M., Kankainen, A., Sjogren, T. (2015). Sickness absence at work and supporting being present at work, among employees working different shifts in the forest industry. *Journal of Ergonomics*, 05(03). <https://doi.org/10.4172/2165-7556.1000141>
- Hagan, J.M., L.C. Irland, and A.A. Whitman. (2005). Changing timberland ownership in the Northern Forest and implications for biodiversity. Manomet Center for Conservation Sciences, Report # MCCS-FCP2005-1, Brunswick, Maine, 25 pp.
- Hahn, T., Olsson, P., Folke, C., Johansson, K. (2006). Trust-building, knowledge generation and organizational innovations: The role of a bridging organization for adaptive comanagement of a wetland landscape around Kristianstad, Sweden. *Human Ecology*, 34(4), 573–592. <https://doi.org/10.1007/s10745-006-9035-z>
- Hajjar, R., McGuigan, E., Moshofsky, M., Kozak, R. (2014). Opinions on strategies for adaptation to future climate conditions in western Canada: Surveys of the general public and leaders of forest-dependent communities. *NRC Research Press*, 44, 1525–1533. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0142>
- Halldórsson, A., & Kovács, G. (2010). The sustainable agenda and energy efficiency: Logistics solutions and supply chains in times of climate change. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 40(1-2), 5-13. <http://dx.doi.org/10.1108/09600031011018019>
- Hämmerle, F.M. (2011) The Cellulose gap (the future of cellulose fibers). *Lenzinger Berichte*, 89 2011, pp. 12-21
- Hardy, J. P., Groffman, P. M., Fitzhugh, R. D., Henry, K. S., Welman, A. T., Demers, J. D., ... Nolan, S. (2001). Snow depth manipulation and its influence on soil frost and water dynamics in a northern hardwood forest. *Biogeochemistry*, 56(2), 151–174. <https://doi.org/10.1023/A:1013036803050>
- Harmon, M.E., Ferrell, W.K., Franklin, J.F. (1990) Effects on Carbon Storage of Conversion of Old-Growth Forests to Young Forests. *Science*; Feb 9, 1990; 247, 4943; ProQuest Medical Library. pg. 699
- Harvey, N., Holmes, C. A. (2012). Nominal group technique: An effective method for obtaining group consensus. *International Journal of Nursing Practice*, 18(2), 188–194.
- Havlík, P., Schneider, U.A., Schmid, E., Böttcher, H., Fritz, S., Skalský, R., Aoki, K., Cara, S., Kindermann, G., Kraxner, F., Leduc, S. (2011) Global land-use implications of first and second generation biofuel targets. *Energy Policy*, Elsevier, vol. 39(10), pages 5690-5702, October
- Hayhoe, K., Wake, C. P., Huntington, T. G., Luo, L., Schwartz, M. D., Sheffield, J., ... Wolfe, D. (2007). Past and future changes in climate and hydrological indicators in the US Northeast. *Climate Dynamics*, 28(4), 381–407. <https://doi.org/10.1007/s00382-006-0187-8>

- Hellmann, J. J., Byers, J. E., Bierwagen, B. G., Dukes, J. S. (2008). Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology*, 22(3), 534–543.
- Hengst-Ehrhart, Y. (2019). Knowing is not enough: Exploring the missing link between climate change knowledge and action of German forest owners and managers. *Annals of Forest Science*, 76(4). <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0878-z>
- Hennigar, C.R, MacLean, D.A., Amos-Binks, L.J., (2008) A novel approach to optimize management strategies for carbon stored in both forests and wood products. *Forest Ecology and Management*, Volume 256, Issue 4, 2008, Pages 786-797, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.037>
- Herrmann, S. M., Sall, I., Sy, O. (2014). People and pixels in the Sahel: A study linking coarse-resolution remote sensing observations to land users' perceptions of their changing environment. *Ecology and Society*, 19(3), 29. <https://doi.org/10.5751/ES-06710-190329>
- Hetemäki, L. Obersteiner, M. (2001). US Newsprint Demand Forecasts to 2020. International Institute for Applied Systems Analysis, Interim Report IR-01-070. 2001.
- Hetemäki L. (2005). Information technology and trends in the paper market. *Pap. Timber*, 87: 424–427.
- Hetemäki, L., Hanewinkel, M., Muys, B., Ollikainen, M., Palahí, M., Trasobares, A., (2017) *Leading the Way to a European Circular Bioeconomy Strategy. From Science to Policy*, vol. 5, European Forest Institute (EFI), Joensuu
- Hetemäki, L., Palahí, M., Nasi, R. (2020) *Seeing the Wood in the Forests*. European Forest Institute (EFI), Joensuu (2020)
- Hitchcock, T. (2012). Low carbon and green supply chains: The legal drivers and commercial pressures. *Supply Chain Management*, 17(1), 98-101. <http://dx.doi.org/10.1108/13598541211212249>
- Hoerling, M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X. W., Wolter, K., Cheng, L. (2016). Characterizing recent trends in U.S. heavy precipitation. *Journal of Climate*, 29(7), 2313–2332.
- Hoffman, A., Woody, J. (2008). *Climate change: what's your business strategy?* Harvard Business Press.
- Hogg, M. A., Reid, S. A. (2006). Social identity, self-categorization, and the communication of group norms. *Communication Theory*, 16(1), 7–30. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2885.2006.00003.x>
- Holmes, T. 1991. Price and welfare effects of catastrophic forest damage from southern pine beetle epidemics. *Forest Science* 37(2):500–516.
- Holtmark, B. (2012) Harvesting in boreal forests and the biofuel carbon debt. *Clim. Change*, 112 (2012), pp. 415-428
- Horton, S., McKenzie, K. (2009). Identifying the possible effects of extreme precipitation and other climate change impacts on streamflow and water quality in the Gulf of Maine: A background report. Gulf of Maine Council on the Marine Environment Climate Change Network. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hsu, C.W., Kuo, T.C., Chen, S.H., & Hu, A.H. (2011). Using DEMATEL to develop a carbon management model of supplier selection in green supply chain management. *Journal of Cleaner Production*.
- Hua, G., Cheng, T.C.E., Wang, S. (2011). Managing carbon footprints in inventory management. *International Journal of Production Economics*, 132(2), 178-185. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.03.024>
- Huang, H., Winter, J. M., Osterberg, E. C., Horton, R. M., Beckage, B. (2017). Total and extreme precipitation changes over the northeastern United States. *Journal of Hydrometeorology*, 18(6), 1783–1798. <https://doi.org/10.1175/jhm-d-16-0195.1>

- Huebner, A. (2012). Public perceptions of destination vulnerability to climate change and implications for long-haul travel decisions to small island states. *Journal of Sustainable Tourism*, 20(7), 939–951. <https://doi.org/10.1080/09669582.2012.667107>
- Huff, E. S., Leahy, J. E., Kittredge, D. B., Noblet, C. L., Weiskittel, A. R. (2017). Psychological distance of timber harvesting for private wood land owners. *Forest Policy and Economics*, 81(April), 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.04.007>
- Hugé, J., Mukherjee, N. (2017). The nominal group technique in ecology & conservation: Application and challenges. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(1), 33–41.
- Humpenoder, F., Popp, A., Bodirsky, B.L., Weindl, I., Biewald, A., Lotze-Campen, H., Dietrich, J.P., Klein, D., Kreidenweis, U., Muller, C., Rolinski, S., Stevanovic, M. (2018) Large-scale bioenergy production: how to resolve sustainability trade-offs? *Environ. Res. Lett.* 13 (2018) 024011
- Humphrey, N. (2008). Potential impacts of climate change on U.S. Transportation. *TR News* 256, 21-24
- Hurmekoski, E., Lovrić, M., Lovrić, N., Hetemäki, L., Winkel, G. (2019). Frontiers of the forest-based bioeconomy – A European Delphi study. *Forest Policy and Economics*, 102(March), 86–99.
- Hurmekoski, E., T. Myllyviita, J. Seppälä, T. Heinonen, A. Kilpeläinen, T. Pukkala, T. Mattila, L. Hetemäki, (2019). Impact of structural changes in wood-using industries on net carbon emissions in Finland. *Journal of Industrial Ecology* 24: 899–912. <https://doi.org/10.1111/jiec.12981>
- Hutchings, H. (2013). Obtaining consensus from mixed groups: An adapted nominal group technique. *British Journal of Medicine and Medical Research*, 3(3), 491–502.
- IIASA (2018) SSP Database (Shared Socioeconomic Pathways) - Version 2.0. December 2018
- Ince P.J., Kramp A.D., Skog K.E., Yoo D.I., Sample V.A. (2011) Modeling future US forest sector and trade impacts of expansion in wood energy consumption *J. Forest Econ.* 17 142–56
- IPCC (2000) Special Report on Emissions Scenarios: A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) Cambridge University Press, UK. pp 570
- IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). IGES, Japan.
- IPCC (2014). Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, 1132. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Irland, L.C., Adams, D., Alig, R., Betz, C.J., Chen, C., Hutchins, M., McCarl, B.A., Skog, K., Sohngen, B.L., (2001) Assessing Socioeconomic Impacts of Climate Change on US Forests, Wood-Product Markets, and Forest Recreation: The effects of climate change on forests will trigger market adaptations in forest management and in wood-products industries and may well have significant effects on forest-based outdoor recreation. *BioScience*, Volume 51, Issue 9, September 2001, Pages 753–764, [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0753:ASIOCC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0753:ASIOCC]2.0.CO;2)
- Janowiak, M., Mahaffey, A., Riely, C. (2020). Moving the needle: A review of needs to increase climate adaptation in the forests of New England. Santa Fe, NM. Forest Stewards Guild.
- Janowiak, M.K., Amato, A.W., Swanston, C.W., Iverson, L., Thompson, F.R., III, Dijak, W.D., Templer, P.H. (2018). New England and northern New York forest ecosystem vulnerability assessment and synthesis: A report from the New England climate change response framework project (Gen. Tech. Report No. NRS-173). Newtown Square, PA.

- Jantarasami, L. C., Lawler, J. J., Thomas, C. W. (2010). Institutional barriers to climate change adaptation in U.S. National parks and forests. *Ecology and Society*, 15(4). <https://doi.org/10.5751/ES-03715-150433>
- Jemison, J. M., Hall, D., Welcomer, S., Haskell, J. (2014). How to communicate with farmers about climate change: Farmers' perceptions and adaptations to increasingly variable weather patterns in Maine (USA). *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development* 4(4), 57–70. <https://doi.org/10.5304/jafscd.2014.044.001>
- Jick, T. D. (1979). Mixing qualitative and quantitative methods: Triangulation in action. *Administrative Science Quarterly*, 24(4), 602–611.
- Jin, S., Sader, S. A. (2006). Effects of forest ownership and change on forest harvest rates, types and trends in northern Maine. *Forest Ecology and Management*, 228(1–3), 177–186. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.03.009>
- Jira, C., Toffel, M.W., (2013) Engaging Supply Chains in Climate Change. Harvard Business School Technology & Operations Mgt. Unit Working Paper 12-026. 41p. <https://doi.org/10.1287/msom.1120.0420>
- Johns, R. C., Bowden, J. J., Carleton, D. R., Cooke, B. J., Edwards, S., Emilson, E. J. S., ...Stastny, M. (2019). A conceptual framework for the spruce budworm early intervention strategy: Can outbreaks be stopped? *Forests*, 10(10), 1–19.
- Johnston, C.M.T. (2016) Global paper market forecasts to 2030 under future internet demand scenarios. *Journal of Forest Economics*: Vol. 25: No. 1, pp 14-28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfe.2016.07.003>
- Johnston, C.M.T., van Kooten, G.C. (2015) Back to the past: Burning wood to save the globe. *Ecological Economics*, Volume 120, 2015, p 185-193, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.10.008>
- Johnston, C.M.T., van Kooten, G.C. (2016) Global trade impacts of increasing Europe's bioenergy demand *Journal of Forest Economics*. Vol. 23, April 2016, Pages 27-44 <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2015.11.001>
- Johnston, M., Williamson, T. (2007). A framework for assessing climate change vulnerability of the Canadian forest sector. *Forestry Chronicle*, 83(3), 358–361. <https://doi.org/10.5558/tfc83358-3>
- Jönsson, R., (2011). Trends and possible future developments in global forest-product markets—Implications for the Swedish forest sector. *Forests*, 2(1), 147-167.
- Jönsson, A. M., Gerger Swartling, Å. (2014). Reflections on science–stakeholder interactions in climate change adaptation research within Swedish forestry. *Society and Natural Resources*, 27(11), 1130–1144. <https://doi.org/10.1080/08941920.2014.906013>
- Joyce, L. A., Mills, J., Heath, L., McGuire, A. D., Haynes, R. W., and Birdsey, R. A. (1995) Forest Sector Impacts from Changes in Forest Productivity under Climate Change. *J. Biogeogr.* 22, 703–714.
- Joyce LA, Aber J, McNulty S, Dale V, Hansen A, Irland L, Neilson R, Skog K (2001) National Assessment Synthesis Team: Climate Change Impacts on the United States: The Potential Consequences of Climate Variability and Change (Cambridge Univ Press, Cambridge, UK), pp 489–522
- Kahan, D. M., Peters, E., Wittlin, M., Slovic, P., Ouellette, L. L., Braman, D., Mandel, G. (2012). The polarizing impact of science literacy and numeracy on perceived climate change risks. *Nature Climate Change*, 2(10), 732–735. <https://doi.org/10.1038/nclimate1547>
- Kalliokoski, T., Aalto, T., Bäck, J., Ezhova, E., Franz, D., Haapanala, S., Juurola, E., Kerminen, V.-M., Kolari, P., Kulmala, L., Liski, J., Mammarella, I., Matkala, L., Petäjä, T., Rantala, P., Vesala, T., Kulmala M. (2019) Carbon sink and CarbonSink+: from observations to global potential. 77p. <https://researchportal.helsinki.fi/files/125247979/>
- Karjalainen, T., Pussinen, A., Liski, J., Nabuurs, G.J., Eggers, T., Lapveteläinen, T., Kaipainen, T. (2003) Scenario analysis of the impacts of forest management and climate change on the European forest sector

carbon budget. *Forest Policy and Economics*, Vol 5, Issue 2, 2003, p.141-155, [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(03\)00021-2](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(03)00021-2)

Kauppi, P. E., Rautiainen, A., Korhonen, K. T., Lehtonen, A., Liski, J., Nöjd, P., and Virtanen, T. (2010) Changing stock of biomass carbon in a boreal forest over 93 years, *Forest Ecol. Manag.*, 259, 1239–1244, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.07.044>

KC S, Lutz W (2017) The human core of the shared socioeconomic pathways: population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100. *Glob Environ Chang* 42:181–192. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.004>

Keenan et al., 2015; Keenan, R.J., Reams, G.A, Achard, F., de Freitas, J.V., Grainger, A., Lindquist, E., (2015) Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. *Forest Ecology and Management*, Volume 352, 2015, p 9-20, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.014>.

Keenan, R. J. (2015). Climate change impacts and adaptation in forest management: A review. *Annals of Forest Science*, 72, 145–167. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0446-5>

Keskitalo, E.C.H., Liljenfeldt, J. (2014) Implementation of forest certification in Sweden: an issue of organisation and communication, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29:5, 473-484 <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.919355>

Keskitalo, E.C.H. (2013) Understanding adaptive capacity in forest governance: editorial. *Ecol. Soc.*, 18 (4) (2013), pp. 45-52, <https://doi.org/10.5751/ES-05924-180445>

Keskitalo, E. C. H. (2008). Vulnerability and adaptive capacity in forestry in northern Europe: A Swedish case study. *Climatic Change*, 87(1–2), 219–234.

Kim SJ, Baker JS, Sohngen BL, Shell M. (2018). Cumulative Global Forest Carbon Implications of Regional Bioenergy Expansion Policies. *Resource and Energy Economics*.

Kindermann, G., Obersteiner, M., Sohngen, B., Sathaye, J., Andrasko, K., Rametsteiner, E., Schlamadinger, B., Wunder, S., Beach, R., (2008) Proceedings of the National Academy of Sciences Jul 2008, 105 (30) 10302-10307; <https://doi.org/10.1073/pnas.0710616105>

Kirilenko, A. P., Sedjo, R. A. (2007). Climate change impacts on forestry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(50), 19697–19702. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701424104>

Kittredge, D. B., Finley, A. O., Foster, D. R. (2003). Timber harvesting as ongoing disturbance in a landscape of diverse ownership. *Forest Ecology and Management*, 180(1–3), 425–442. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00561-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00561-3)

Klein, R.J.T., G.F. Midgley, B.L. Preston, M. Alam, F.G.H. Berkhout, K. Dow, and M.R. Shaw, (2014) Adaptation opportunities, constraints, and limits. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 899-943.

Klenk, N., Wyatt, S. (2015). Forest policy and economics the design and management of multi-stakeholder research networks to maximize knowledge mobilization and innovation opportunities in the forest sector. *Forest Policy and Economics*, 61, 77–86.

Kline, J. D., Alig, R. J., Johnson, R. L. (2000). Fostering the production of nontimber services among forest owners with heterogeneous objectives. *Forest Science*, 46(2), 302–311. <https://doi.org/10.1093/forestscience/46.2.302>

Knauf, M. (2016). The wood market balance as a tool for calculating wood use's climate change mitigation effect—An example for Germany. *For. Policy Econ.* 66: 18–21. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.02.004>

- Knittel, N., Jury M.W, Bednar-Friedl, B., Bachner, G., Steiner A.K. (2020) A global analysis of heat-related labour productivity losses under climate change—implications for Germany’s foreign trade. *Climatic Change* (2020) 160:251–269 <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02661-1>
- Kolk, A., Pinkse, J. (2005) Business Responses to Climate Change: Identifying Emergent Strategies. *California Management Review*, 47, 6-20. <http://dx.doi.org/10.2307/41166304>
- Kosmowski, F., Leblois, A., Sultan, B. (2016). Perceptions of recent rainfall changes in Niger: A comparison between climate-sensitive and non-climate sensitive households. *ClimaticChange*, 135, 227–241. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1562-4>
- Kouisni, L.; Fang, Y.; Paleologou, M.; Behzad, A.; Jalal, H.; Zhang, Y.; Wang, X.; 2011. Kraft lignin recovery and its use in the preparation of lignin-based phenol formaldehyde resins for plywood. *Cellulose Chemistry and Technology* 45(7-8): 515-520.
- Krantz, S. A., Monroe, M. C. (2015). Message framing matters: Communicating climatechange with forest landowners. *Journal of Forestry*, 114(2), 108–115. <https://doi.org/10.5849/jof.14-057>
- Kraxner, F., Schepaschenko, D., Fuss, S., Lunnan, A., Kindermann, G., Aoki, K., Dürauer, M., Shvidenko, A., See, L., (2017) Mapping certified forests for sustainable management - A global tool for information improvement through participatory and collaborative mapping. *Forest Policy and Economics*, Volume 83, 2017, p. 10-18, <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.04.014>.
- Kraxner et al., 2013; Kraxner, F., Nordström, E.M., Havlík, P., Gusti, M., Mosnier, A., Frank, S., Valin, H., Fritz, S., Fuss, S., Kindermann, G., McCallum, I., Khabarov, I., Böttcher, H., See, L., Aoki, K., Schmid, E., Máthé, L., Obersteiner, M., (2013) Global bioenergy scenarios – Future forest development, land-use implications, and trade-offs. *Biomass and Bioenergy*, vol 57, 2013, p 86-96, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.02.003>.
- Krist, F.J., Ellenwood, J.R., Woods, M.E., McMahan, A.J., Cowardin, J.P., Ryerson, D.E., Sapio, F.J., Zweifler, M.O., Romero, S.A. (2014). 2013–2027 National insect and diseaseforest risk assessment. Fort Collins, CO: United States Forest Service.
- Kuloglu, T. Z., Lieffers, V. J., Anderson, A. E. (2019). Impact of shortened winter road accesson costs of forest operations. *Forests*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/f10050447>
- Kunkel, K. E. (2013). Regional climate trends and scenarios for the US National ClimateAssessment Part 3 Climate of the Midwest (Report No. NEDSIS 142-1). Retrieved from U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration website: [https://www.nesdis.noaa.gov/sites/default/files/asset/document/NOAA\\_NESDIS\\_Tech\\_Report\\_142-1-Climature\\_of\\_the\\_Northeast\\_US.pdf](https://www.nesdis.noaa.gov/sites/default/files/asset/document/NOAA_NESDIS_Tech_Report_142-1-Climature_of_the_Northeast_US.pdf)
- Kurz, W., Dymond, C., Stinson, G. (2008) Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature* 452, 987–990. <https://doi.org/10.1038/nature06777>
- Kurz, W.A.; Shaw, C.H.; Boisvenue, C.; Stinson, G.; Metsaranta, J.; Leckie, D.; Dyk, A.; Smyth, C.; Neilson, E.T. (2013) Canadian Forest Service Publications Carbon in Canada’s boreal forest — A synthesis. *Environmental Reviews* 21(4):260-292 <https://doi.org/10.1139/er-2013-0041>
- Laatsch, J., Ma, Z. (2015). Strategies for incorporating climate change into public forestmanagement. *Journal of Forestry*, 113(3), 335–342. <https://doi.org/10.5849/jof.14-128>
- Lachenbruch B, Johnson GR, Downes G, Evans R. (2010). Relationships of density, microfibril angle, and sound velocity with stiffness and strength in mature wood of Douglas-fir. *Canadian Journal of Forest Research* 40: 55– 65.
- Lähtinen, K., Toppinen, A., Suojanen, H., Stern, T., Ranacher, L., Burnard, M., KitekKuzman, M. (2017). Forest sector sustainability communication in Europe: A systematicliterature review on the contents and gaps. *Current Forestry Reports*, 3(3), 173–187. <https://doi.org/10.1007/s40725-017-0063-2>

- Lal, P., Alavalapati, J., Evan Mercer, D. (2011). Socioeconomic impacts of climate change on rural communities in the United States. USDA Forest Service - General Technical Report PNW-GTR, (837), 73–118.
- Lankford, S. V, Buxton, B. P., Hetzler, R. (1995). Response bias and wave analysis of mailed questionnaires in tourism impact assessments. *Journal of Travel Research*, 33(4), 8–13.
- Larouche, C., Kenefic, L. S., Ruel, J. (2010). Northern white-cedar regeneration dynamics on the Penobscot Experimental Forest in Maine: 40-year results. *The Northern Journal of Applied Forestry*, 27(1), 5–12.
- Latta, G.S. Baker, J.S. Beach, R.H. Rose, S.K. McCarl B.A. (2013) A multi-sector intertemporal optimization approach to assess the GHG implications of U.S. forest and agricultural biomass electricity expansion. *J.For.Econ.*, 19 (4) (2013), pp. 361-383
- Latta GS, Plantinga AJ, and Sloggy MR. (2015). The effects of internet use on global demand for paper products". *Journal of Forestry*. 114(4): 433–440. <https://doi.org/10.5849/jof.15-096>.
- Latta GS, Baker JS, and Ohrel S. (2018). A Land Use and Resource Allocation (LURA) modeling system for projecting localized forest CO<sub>2</sub> effects of alternative macroeconomic futures. *Forest Policy and Economics*. 87: 35–48.
- Lauk, C., Haberl, H., Erb, K.-H., Gingrich, S., Krausmann, F. (2012) Global socioeconomic carbon stocks in long-lived products 1900–2008. *Environ. Res. Lett.* 7, 034023
- Lauri, P., Forsell, N., Gusti, M., Korosuo, A., Havlík, P., Obersteiner, M. (2019) Global Woody Biomass Harvest Volumes and Forest Area Use Under Different SSP-RCP Scenarios. *Journal of Forest Economics*, 2019, 34: 285–309
- Lauri, P., Forsell, N., Korosuo, A., Havlík, P., Obersteiner, M., Nordin, A. (2017) Impact of the 2 °C target on global woody biomass use *Forest Policy and Economics* 83 (2017) 121–130
- Leahy, J. E., Kilgore, M. A., Hibbard, C. M., Donnay, J. S. (2008). Family forest landowners' interest in and perceptions of forest certification: Focus group findings from Minnesota. *Northern Journal of Applied Forestry*, 25(2), 73–81. <https://doi.org/10.1093/njaf/25.2.73>
- Lecocq, F., Caurla, S., Delacote, P., Barkaoui, A., Sauquet, A., (2011) Paying for forest carbon or stimulating fuelwood demand? Insights from the French Forest Sector Model. *Journal of Forest Economics*. Volume 17, Issue 2, 2011, p. 157-168, <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2011.02.011>.
- Lee DM, Lyon KS (2004) A dynamic analysis of the global timber market under global warming: an integrated modeling approach. *South Econ J* 70(3):467–489
- Lee, Y. J. (2014). Social vulnerability indicators as a sustainable planning tool. *Environmental Impact Assessment Review*, 44, 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2013.08.002>
- Lehtonen, I., Venäläinen, A., Kämäräinen, M., Asikainen, A., Laitila, J., Anttila, P., Peltola, H. (2019) Projected decrease in wintertime bearing capacity on different forest and soil types in Finland under a warming climate. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 23, 1611–1631, 2019 <https://doi.org/10.5194/hess-23-1611-2019>
- Leiserowitz, A. (2006). Climate change risk perceptions and policy preferences: The role of affect, imagery, and values. *Climatic Change*, 77, 45–72. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9059-9>
- Leiserowitz, A. (2009). International public opinion, perception, and understanding of global climate change. Retrieved from Yale Program on Climate Change Communication website: <https://climatecommunication.yale.edu/publications/international-public-opinion/>
- Lelyakin, A.L., Kokorin, A.O. & Nazarov, I.M. (1997). Vulnerability of Russian forests to climate changes, model estimation of CO<sub>2</sub> fluxes. *Climatic Change* 36: 123–133.

- Lemmen, D.S., Warren, F.J., Lacroix, J., and Bush, E. (Editors). 2008a. From impacts to adaptation: Canada in a changing climate 2007. Government of Canada, Ottawa, ON, pp. 448.
- Lemmen, D.S. Warren, F.J. (Ed.). (2004). Climate change impacts and adaptation: A Canadian perspective. Canada: Natural Resources Canada.
- Lemprière T.C., Bernier P.Y., Carroll A.L., Flannigan M.D., Gilsenan R.P., McKenney D.W., Hogg E.H., Pedlar J.H., Blain D. (2008) The importance of forest sector adaptation to climate change. Information Report NOR-X-416E. Canadian Forest Service. Natural Resources Canada
- Lenart, M., Jones, C. (2014). Perceptions on climate change correlate with willingness to undertake some forestry adaptation and mitigation practices. *Journal of Forestry*, 112(6), 553–563.
- Leskinen et al. (2018) Leskinen, P., Cardellini, G., González-García, S., Hurmekoski, E., Sathre, R., Seppälä, J., Smyth, C., Stern, T., Verkerk, P.J. (2018). Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. From Science to Policy 7. European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs07>
- Letmathe, P., & Balakrishnan, N. (2005). Environmental considerations on the optimal product mix. *European Journal of Operational Research*, 167(2), 398–412.
- Lettner, M., Solt, P., Rößiger, B., Pufky-Heinrich, D., Jääskeläinen, A.-S., Schwarzbauer, P. & Hesser, F. (2018). From Wood to Resin—Identifying Sustainability Levers through Hotspotting Lignin Valorisation Pathways. *Sustainability*, 10, 2745.
- Leviston, Z., Price, J. C., Bates, L. E. (2011). Key influences on the adoption of improved landmanagement practice in rural Australia: The role of attitudes, values and situation. *Rural Society*, 20(2), 142–159. <https://doi.org/10.5172/rsj.20.2.142>
- Lexer, M. J., Seidl, R. (2009). Addressing biodiversity in a stakeholder-driven climate change vulnerability assessment of forest management. *Forest Ecology and Management*, 258, 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.07.011>
- Lindenfeld, L., Smith, H. M., Norton, T., Grecu, N. C. (2014). Risk communication and sustainability science: Lessons from the field. *Sustainability Science*, 9, 119–127. <https://doi.org/10.1007/s11625-013-0230-8>
- Lindner, M., Sohngen, B., Joyce, L. A., Price, D. T., Bernier, P. Y., Karjalainen, T. (2002). Integrated forestry assessments for climate change impacts. *Forest Ecology and Management*, 162(1), 117–136. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00054-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00054-3)
- Lindroth, A., Lagergren, F., Grelle, A. et al. (2009). Storms can cause Europe-wide reduction in forest carbon sink. *Global Change Biology*. 15: 346–355.
- Locatelli, B., Evans, V., Wardell, A., Andrade, A., Vignola, R. (2011). Forests and climate change in Latin America: Linking adaptation and mitigation. *Forests*, 2(1), 431–450. <https://doi.org/10.3390/f2010431>
- Locatelli, B., Herawati, H., Brockhaus, M., Idinoba, M., Kanninen, M. (2008). Methods and tools for assessing the vulnerability of forests and people to climate change: An introduction (Working Paper No. 3). CIFOR. <https://doi.org/10.17528/cifor/002727>
- Lönnstedt, L. (1997). Non-industrial private forest owners' decision process: A qualitative study about goals, time perspective, opportunities and alternatives. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 12(3), 302–310. <https://doi.org/10.1080/02827589709355414>
- Lora, J.H., Glasser, W.G. (2002) Recent Industrial Applications of Lignin: A Sustainable Alternative to Nonrenewable Materials. *Journal of Polymers and the Environment*, 10, 39. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1021070006895>
- Lucash, M. S., Scheller, R. M., J. Gustafson, E., R. Sturtevant, B. (2017). Spatial resilience of forested landscapes under climate change and management. *Landscape Ecology*, 32(5), 953–969. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0501-3>

- Ludena, C. E., Yoon, S. W. (2015). Local vulnerability indicators and adaptation to climate change: A survey. Inter-American Development Bank, Technical (Climate Change and Sustainability Division). <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0972-y>
- Lundmark, T., Bergh, J., Hofer, P., Lundström, A., Nordin, A., Poudel, B. C., ... Werner, F. (2014). Potential roles of Swedish forestry in the context of climate change mitigation. *Forests*, 5(4), 557–578. <https://doi.org/10.3390/f5040557>
- Luo, Y., Chen, H. Y. H. (2013). Observations from old forests underestimate climate change effects on tree mortality. *Nature Communications*, 4, 1655–1656. <https://doi.org/10.1038/ncomms2681>
- Lynn, K., MacKendrick, K., Donoghue, E. M. (2011). Social vulnerability and climate change: Synthesis of literature (General Technical Report PNW-GTR-838). Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station
- Magis, K. (2010). Community resilience: An indicator of social sustainability. *Society and Natural Resources*, 23(5), 401–416. <https://doi.org/10.1080/08941920903305674>
- Malka, A., Krosnick, J. A., Langer, G. (2009). The association of knowledge with concern about global warming: Trusted information sources shape public thinking. *Risk Analysis*, 29(5), 633–647. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2009.01220.x>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245.
- Mase, A. S., Cho, H., Prokopy, L. S. (2015). Enhancing the social amplification of risk framework (SARF) by exploring trust, the availability heuristic, and agricultural advisors' belief in climate change. *Journal of Environmental Psychology*, 41, 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.12.004>
- Maoh, H., Kanaroglou, P., & Woudsma, C. (2008). Simulation model for assessing the impact of climate change on transportation and the economy in Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2067, 84–92. <http://dx.doi.org/10.3141/2067-10>
- Marmorek, D.R., L. Greig, C. Murray, and D.C.E. Robinson. (2006). Enabling adaptive forest management—final report. Prepared for the National Commission on Science for Sustainable Forestry by ESSA Technologies Ltd., Vancouver, British Columbia, Canada.
- Maule, A. J. (2004). Translating management knowledge: The lessons to be learned from on the perception and communication of risk. *Risk Management*, 6(2), 17–29.
- Maynard, L., Jacobson, S. K. (2017). Stakeholder participation in wildlife management: Adapting the nominal group technique in developing countries for participants with low literacy. *Human Dimensions of Wildlife*, 22(1), 71–82.
- McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., White, K. S. (Eds.). (2001). *Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability: Contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Vol. 2)*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- McCaskill, G. L.,
- McDermott, M.S., Oliver, M., Svenson, A. (2015) The theory of planned behaviour and discrete food choices: a systematic review and meta-analysis. *Int J Behav Nutr Phys Act* 12, 162. <https://doi.org/10.1186/s12966-015-0324-z>
- McEvoy, T. (2004). *Positive impact forestry: A sustainable approach to managing woode lands*. Washington, DC: Island Press, 296 p.
- McFarlane, B. L., Parkins, J. R., Watson, D. O. T. (2012). Risk, knowledge, and trust in managing forest insect disturbance. *Canadian Journal of Forest Research*, 42(4), 710–719. <https://doi.org/10.1139/X2012-030>
- McKechnie J., Colombo S., Chen J., Mabee W., MacLean H.L. (2011). Forest bioenergy or forest carbon? Assessing trade-offs in greenhouse gas mitigation with wood-based fuels. *Environmental Science & Technology*, 45, 789–795.

- McKenney-Easterling, M., Dewalle, D. R., Iverson, L. R., Prasad, A. M., Buda, A. R. (2000). The potential impacts of climate change and variability on forests and forestry in the Mid-Atlantic region. *Climate Research*, 14, 195–206.
- McKinnon, A. (2010). Product-level carbon auditing of supply chains: Environmental imperative or wasteful distraction? *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 40(1-2), 42-60. <http://dx.doi.org/10.1108/09600031011018037>
- McKinsey Global Institute (2020) Climate risk and response. Physical hazards and socioeconomic impacts.
- McLachlan, J. S., Hellmann, J. J., Schwartz, M. W. (2007). A framework for debate of assisted migration in an era of climate change. *Conservation Biology*, 21(2), 297–302. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00676.x>
- McMahon, S. M., Parker, G. G., Miller, D. R. (2010). Evidence for a recent increase in forest growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(8), 3611–3615.
- McNabb, D. E. (2014). *Nonsampling error in social surveys*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc.
- McWilliams, W. H., Barnett, C. J., Butler, B. J., Hatfield, M. a., Kurtz, C. M., Woodall, C. W. (2011). *Maine's forests 2008 (Report No. NRS-48)*. Newtown Square, PA: U.S. Forest Service.
- Meadows, Donella H.; Dennis L. Meadows; Jørgen Randers; William W. Behrens (1972) *The limits to growth. A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. A Potomac Associates Book, New York.
- Meyer, F. Daniel, Paulsen, J., & Körner, C. (2008). Windthrow damage in *Picea abies* is associated with physical and chemical stem wood properties. *Trees*, 22, 463-473. <https://doi.org/10.1007/s00468-007-0206-3>
- Miles, M. B., Huberman, A.M., Saldaña, J. (2020). *Qualitative data analysis: A method sourcebook* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc.
- Milfont, T. L. (2012). The interplay between knowledge, perceived efficacy, and concern about global warming and climate change: A one-year longitudinal study. *Risk Analysis*, 32(6). <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01800.x>
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press.
- Miltiades, H., Kaye, L. W. (2003). The aging imperative in Maine: Present realities and future prospects. *Maine Policy Review*, 12(2), 10–23.
- Moghimehfar, F., Halpenny, E. A., Walker, G. J. (2018). Front-country campers' constraints, negotiation, and pro-environment behavioral intention: An extension to the theory of planned behavior. *Leisure Sciences*, 40(3), 174–193 <https://doi.org/10.1080/01490400.2017.1344163>
- Moiseyev et al., 2011 Moiseyev, A., Solberg, B., Kallio, I., Lindner, M. (2011) An economic analysis of the potential contribution of forest biomass to the EU RES target and its implications for the EU forest industries. *Journal of Forest Economics*: Vol. 17: No. 2, pp 197-213. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfe.2011.02.010>
- Moser, S. C. (2014). Communicating adaptation to climate change: The art and science of public engagement when climate change comes home. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(3), 337–358. <https://doi.org/10.1002/wcc.276>
- Moser, S. C. (2016). Reflections on climate change communication research and practice in the second decade of the 21st century: What more is there to say? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7(3), 345–369. <https://doi.org/10.1002/wcc.403>

- Moser, S. C., Dilling, L. (2012). Communicating climate change: Closing the science-action gap. In J. Dryzek, R. Norgaard, D. Scholsberg (Eds.), *The Oxford Handbook of Climate Change and Society*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199566600.003.0011>
- Moser, S. C., Kaspersen, R. E., Yohe, G., Agyeman, J. (2008). Adaptation to climate change in the Northeast United States: Opportunities, processes, constraints. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 13(5–6), 643–659. <https://doi.org/10.1007/s11027-007-9132-3>
- Moser, W. K., Barnard, E. L., Crocker, S. J., Billings, R. F., Dix, M. E., Gray, A. N., ...McWilliams, W. H. (2009). Impacts of nonnative invasive species on US forests and recommendations for policy and management. *Journal of Forestry*, 107(6), 320–327.
- Moshofsky, M., Gilani, H. R., Kozak, R. A. (2019). Adapting forest ecosystems to climate change by identifying the range of acceptable human interventions in western Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 49(5), 553–564. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0076>
- Moss, R.H., et al., 2008. *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132 pp.
- Moss, R.H. et al., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463: 747-756. Available at <http://dx.doi.org/10.1038/nature08823>.
- Mukherjee, N., Zabala, A., Hugel, J., Nyumba, T. O., Adem Esmail, B., Sutherland, W. J. (2018). Comparison of techniques for eliciting views and judgements in decision-making. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(1), 54–63.
- Muro, M., Jeffrey, P. (2008). A critical review of the theory and application of social learning in participatory natural resource management processes. *Journal of Environmental Planning and Management*, 51(3), 325–344. <https://doi.org/10.1080/09640560801977190>
- Murray, C., and D. R. Marmorek. 2004. Adaptive management: A spoonful of rigour helps the medicine go down. Submitted to the 16th International Annual Meeting of the Society for Ecological Restoration, Victoria, BC, Canada.
- Mylek, M. R., Schirmer, J. (2015). Beyond physical health and safety: Supporting the wellbeing of workers employed in the forest industry. *Forestry*, 88(4), 391–406. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpv011>
- Nabuurs, G.J., Arets, E.J.M.M., Schelhaas, M.J. (2018) Understanding the implications of the EU-LULUCF regulation for the wood supply from EU forests to the EU- Carbon Balance and Management 13:18 <https://doi.org/10.1186/s13021-018-0107-3>
- Nabuurs, G.J., Delacote, P., Ellison, D., Hanewinkel, M., Lindner, M., Nesbit, M., Ollikainen, M. and Savaresi, A. (2015). A new role for forests and the forest sector in the EU post-2020 climate targets. From Science to Policy 2. European Forest Institute
- Nabuurs, G.J., Pussinen, A., Karjalainen, T., Erhard, M., Kramer, K. (2002). Stemwood volume increment changes in European forests due to climate change—a simulation study with the EFISCEN model. *Global Change Biology* 8: 304-316. doi:10.1046/j.1354-1013.2001.00470.x
- Nakicenovic, N., Swart, R., (2000) *Special Report on Emissions Scenarios (SRES)* Cambridge University Press, Cambridge, UK (2000)
- Nash A, Weidmann U, Luethi M. Can Information Technology Help Rail Play a Greater Role in Preventing Climate Change? *Transportation Research Record*. 2009;2139(1):133-141. <https://doi.org/10.3141/2139-16>
- Nelson, H. W., Williamson, T. B., Macaulay, C., Mahony, C. (2016). Assessing the potential for forest management practitioner participation in climate change adaptation. *Forest Ecology and Management*, 360, 388–399. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.038>

- Nepal, P., Ince, P.J., Skog, K.E., Chang S.J. (2013) Forest carbon benefits, costs and leakage effects of carbon reserve scenarios in the United States, *Journal of Forest Economics*: Vol. 19: No. 3, pp 286-306
- Nerlich, B., Koteyko, N., Brown, B. (2010). Theory and language of climate change communication. *WIREs Clim Change*, 1, 97–110. <https://doi.org/10.1002/wcc.002>
- O'Connell, L. (2019) Importance of Sustainability to Global Consumers when Buying Apparel in 2017. Statista. The Statistics Portal (2019)
- Ohlson, D. W., G. A. McKinnon, and K. G. Hirsch. (2005). A structured decision-making approach to climate change adaptation in the forest sector. *The Forestry Chronicle* 81(1):97–103
- O'Neill, B. C. Kriegler, E. Riahi, K. Ebi, K. L. Hallegatte, S. Carter, T. R. Mathur, R. van Vuuren D. P. (2014) A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways. *limatic Change*, 122(3), pp. 387-400, <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>
- O'Neill, B.C., Kriegler, E., Ebi, K.L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D.S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D.P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., Solecki, W., (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Glob. Environ. Change*, 42, 169-180
- Oswald, E.M., Pontius, J., Rayback, S.A., Schaberg, P.G., Wilmot, S.H., Dupigny-Giroux, L.A. (2018). The complex relationship between climate and sugar maple health: Climatechange implications in Vermont for a key northern hardwood species. *Forest Ecology and Management*, 422: 303-312.
- Otto-Banaszak, I., Matczak, P., Wesseler, J., Wechsung, F. (2011). Different perceptions of adaptation to climate change: A mental model approach applied to the evidence from expert interviews. *Regional Environmental Change*, 11(2), 217–228. <https://doi.org/10.1007/s10113-010-0144-2>
- Pan Y, Birdsey RA, Fang J, Houghton R, Kauppi PE, Kurz WA, Phillips OL, Shvidenko A, Lewis SL, Canadell JG, Ciais P, Jackson RB, Pacala SW, McGuire AD, Piao S, Rautiainen A, Sitch S, Hayes D. (2011) A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*. 2011 Aug 19;333(6045):988-93 [https://doi.org/10.1126/science.1201609`](https://doi.org/10.1126/science.1201609)
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Phillips, O.L., Jackson, R.B. (2013) The Structure, Distribution, and Biomass of the World's Forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 2013 44:1, 593-622
- Pan, S., Ballot, E., & Fontane, F. (2010). The reduction of greenhouse gas emissions from freight transport by pooling supply chains.
- Papathoma-Köhle, M., Cristofari, G., Wenk, M., Fuchs, S. (2019). The importance of indicator weights for vulnerability indices and implications for decision making in disaster management. *International journal of disaster risk reduction*, 36, 101103. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101103>
- Parkins, J., Mackendrick, N. A. (2007). Assessing community vulnerability: A study of the mountain pine beetle outbreak in British Columbia, Canada. *Global Environmental Change*, 17, 460–471. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.01.003>
- Parry, M., Parry, M. L., Canziani, O., Palutikof, J., van der Linden, P., Hanson, C. (Eds.). (2007). *Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC (Vol. 4)*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Pearce, W., Brown, B., Nerlich, B., Koteyko, N. (2015). Communicating climate change: Conduits, content, and consensus. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/wcc.366>
- Pearson, T.R.H., Brown, S., Murray, L. (2017) Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. *Carbon Balance Manage* 12, 3 <https://doi.org/10.1186/s13021-017-0072-2>
- Peltola H., Kellomäki, S. Väisänen, H. Ikonen, V.-P. (1999) HWIND: a mechanistic model for wind and snow damage of Scots pine, Norway spruce and birch *Can. J. For. Res.*, 29 (1999), pp. 647-661

- Peras, R. J. J., Inoue, M. (2017). Vulnerability of community-based forest management to climate variability and extremes: Emerging insights on the contribution of REDD+. *Small-Scale Forestry*, 16(2), 249–274. <https://doi.org/10.1007/s11842-016-9354-x>
- Perez-Garcia, J., Joyce, L., Binkley, C. S., and McGuire, A. D.: 1997, 'Economic Impacts of Climate Change on the Global Forest Sector' *Critical Rev. Environ. Technol.* 27, S123–S138.
- Perez-Garcia, J., Joyce, L.A., McGuire, A.D. et al. (2002) Impacts of Climate Change on the Global Forest Sector. *Climatic Change* 54, 439–461 (2002). <https://doi.org/10.1023/A:1016124517309>
- Petersen, A.K., Solberg, B. (2005) Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden, *Forest Policy and Economics*, Volume 7, Issue 3, 2005, p. 249-259, [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(03\)00063-7](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(03)00063-7).
- Pilli, R., Grassi, G., Kurz, W. A., Fiorese, G., Cescatti, A. (2017). The European forest sector: past and future carbon budget and fluxes under different management scenarios. *Biogeosciences* 14, 2387–2405 (2017).
- Pomponi, F., Moncaster, A. (2016). Circular economy for the built environment: A research framework. *Journal of Cleaner Production*, 143 710-718. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055>
- Popp A, Calvin K, Fujimori S, Havlik P , Humpenöder F, Stehfest E, Bodirsky BL, Dietrich JP, et al. (2017). Land-use futures in the shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change* 42: 331-345. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.10.002>.
- Prestemon, J.P., Wear, D.N., Stewart F.J., Holmes, T.P. (2006) Wildfire, timber salvage, and the economics of expediency. *Forest Policy and Economics*, 2006, vol. 8, issue 3, 312-322
- Prestemon, J.; Holmes, T. 2000. Timber price dynamics following a natural catastrophe. *American Journal of Agricultural Economics* 82:145–160.
- Prestemon, J.; Holmes, T. 2004. Market dynamics and optimal timber salvage after a natural catastrophe. *Forest Science* 50(4):495–511
- Prestemon, P.; Wear, D.; Stewart, F.; Holmes, T. 2004. Wildfire, timber salvage, and the economics of expediency. *Forest Policy and Economics* 8(3):312–322
- Prestemon J.P., Holmes T.P. (2008) Timber Salvage Economics. In: Holmes T.P., Prestemon J.P., Abt K.L. (eds) *The Economics of Forest Disturbances*. *Forestry Sciences*, vol 79. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4370-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4370-3_9)
- Prestemon, J., Pye, J., Barbour, J., Smith, G., Ince, P., Steppeleton, C., Xu, W. (2005). U.S. wood-using mill locations (2005). Asheville, NC: Southern Research Station, United States Department of Agriculture, United States Forest Service. Retrieved from: <https://www.srs.fs.usda.gov/econ/data/mills/>
- Preston, B. L., Stafford-Smith, M. (2009). Framing vulnerability and adaptive capacity assessment: Discussion paper. Aspendale: CSIRO Climate Adaptation National Research Flagship.
- Preston, B. L., Yuen, E. J., Westaway, R. M. (2011). Putting vulnerability to climate change on the map: A review of approaches, benefits, and risks. *Sustainability Science*, 6, 177–202. <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0129-1>
- Pretzsch, H., Rais, A. Wood quality in complex forests versus even-aged monocultures: review and perspectives. *Wood Sci Technol* 50, 845–880 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00226-016-0827-z>
- Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Kemmerer, J., & Uhl, E. (2018). Wood density reduced while wood volume growth accelerated in Central European forests since 1870. *Forest Ecology and Management*, 429, 589-616.

- Product Policy Institute. (2009). Products, Packaging and US Greenhouse Gas Emissions. [http://www.productpolicy.org/ppi/attachments/PPI Climate Change and Products White Paper September 2009](http://www.productpolicy.org/ppi/attachments/PPI_Climate_Change_and_Products_White_Paper_September_2009)
- Quartuch, M. R., Beckley, T. M. (2014). Carrots and sticks: New Brunswick and Maine forestlandowner perceptions toward incentives and regulations. *Environmental Management*, 53(1), 202–218. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0200-z>
- Ramudhin, A., Chaabane, A., & Paquet, M. (2010). Carbon market sensitive sustainable supply chain network design. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 5(1), 30-38.
- Ranacher, L., Lähinen, K., Järvinen, E., Toppinen, A. (2017). Perceptions of the general public on forest sector responsibility: A survey related to ecosystem services and forest sector business impacts in four European countries. *Forest Policy and Economics*, 78, 180–189. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.01.016>
- Raunikaar, R., Buongiorno, J., Turner, J., S. Zhu, (2010), Global outlook for wood and forests with the bioenergy demand implied by scenarios of the Intergovernmental Panel on Climate Change, *Forest Policy and Economics* 12, 48-56.
- Reed, M. S. (2008). Stakeholder participation for environmental management: A literature review. *Biological Conservation*, 141(10), 2417–2431.
- Reed, M. S., Evely, A., Cundill, G., Fazey, I., Glass, J., Laing, A., Stringer, L. (2010). What is social learning? *Ecology and Society*, 54(2).
- Régnière, J., St-Amant, R., Duval, P. (2010). Predicting insect distributions under climate change from physiological responses: Spruce budworm as an example. *Biological Invasions*, 14(8), 1571–1586.
- Renn, O. (2010). Risk communication: Insights and requirements for designing successful communication programs on health and environmental hazards. In R. L. Heath H. D. O’Hair (Eds.), *Handbook of risk and crisis communication* (pp. 80–98). New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203891629-10>
- Renn, O., Levine, D. (1991). Credibility and trust in risk communication. In S. P. J. M. Kaspersen R.E. (Ed.), *Communicating risks to the public* (pp. 175–217). Dordrecht, Netherlands: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-1952-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-94-009-1952-5_10)
- Restrepo, M. J., Lelea, M. A., Kaufmann, B. A. (2018). Evaluating knowledge integration and co-production in a 2-year collaborative learning process with smallholder dairy farmer groups. *Sustainability Science*, 13(5), 1265–1286. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0553-6>
- Riahi, K., van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O’Neill, B.C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Crespo Cuaresma, J., Samir KC, Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humpenöder, F., Da Silva, L.A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Strefler, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J.C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A., Tavoni, M. (2017) The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, Volume 42, 2017, p.153-168, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>.
- Richardson, A. D., Bailey, A. S., Denny, E. G., Martin, C. W., O’Keefe, J. (2006). Phenology of a northern hardwood forest canopy. *Global Change Biology*, 12(7), 1174–1188.
- Richardson, A. D., Black, T. A., Ciais, P., Delbart, N., Friedl, M. A., Gobron, N., ... Varlagin, A. (2010). Influence of spring and autumn phenological transitions on forest ecosystem productivity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1555), 3227–3246.
- Rittenhouse, C. D., Rissman, A. R. (2015). Changes in winter conditions impact forest management in north temperate forests. *Journal of Environmental Management*, 149, 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.010>

- Rodriguez-Franco, C., Haan, T.J. (2015). Understanding climate change perceptions, attitudes, and needs of Forest Service resource managers. *Journal of Sustainable Forestry*, 34(5), 423-444.
- Roser-Renouf, C., Maibach, E. W., Leiserowitz, A., Zhao, X. (2014). The genesis of climate change activism: From key beliefs to political action. *Climatic Change*, 125, 163–178. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1173-5>
- Ross, C., Mills, E., Hecht, S.B., (2007) Limiting Liability in the Greenhouse: Insurance Risk-Management Strategies in the Context of Global Climate Change. *Stanford Environmental Law Journal*, Vol. 26A, p. 251, 2007, UCLA School of Law Research Paper No. 07-18, *Stanford Journal of International Law*, Vol. 43A, p. 251, 2007 <https://ssrn.com/abstract=987942>
- Roth, P. L. (1994). Missing data: A conceptual review for applied psychologists. *Personnel Psychology*, 47, 537–561.
- Roulston, K. (2014). Analysing interviews. In U. Flick (Ed.), *The SAGE handbook of qualitative data analysis* (pp. 297-312). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications Inc.
- Russell. (2001). Effects of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) on plants, plant populations and communities: A review. *The American Midland Naturalist*, 146(1), 1–26.
- Sadegheih, A., Drake, P.R., Li, D., & Sribenjachot, S. (2011). Global supply chain management under the carbon emission trading program using mixed integer programming and genetic algorithm. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 24(1), 37-53
- Safi, A. S., Smith, W. J., Liu, Z. (2012). Rural Nevada and climate change: Vulnerability, beliefs, and risk perception. *Risk Analysis*, 32(6). <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01836.x>
- Saldaña, J. (2013). *The coding manual for qualitative researchers* (2nd. ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc.
- Sandler, R. (2010). The value of species and the ethical foundations of assisted colonization. *Conservation Biology*, 24(2), 424–431.
- Sathre, R., O'Connor, J. (2010). Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science & Policy*, 13, 104-114.
- Scheaffer, R. L., Mendenhall III, W., Ott, R. L., Gerow, K. G. (2012). *Elementary survey sampling* (7th ed.). Boston, MA: Brooks/Cole.
- Schroeter D (2004) ATEAM: Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modeling (Potsdam Institute for Climate Impact Research, Postdam, Germany)
- Schulze, E.D., Körner, C., Law, B., Haberl, H., Luyssaert, S. (2012) Large-scale bioenergy from additional harvest of forest biomass is neither sustainable nor greenhouse gas neutral *Global Change Biol. Bioenergy*, 4 (2012), pp. 611-616
- Schusler, T. M., Decker, D. J., Pfeffer, M. J. (2003). Social learning for collaborative natural resource management. *Society and Natural Resources*, 16(4), 309–326. <https://doi.org/10.1080/08941920390178874>
- Schwab, O., Maness, T., Bull, G., & Roberts, D. (2009). Modeling the effect of changing market conditions on mountain pine beetle salvage harvesting and structural changes in the British Columbia forest products industry. *Canadian Journal of Forest Research*, 39, 1806–1820.
- Schwartz, S. H., Bilsky, W. (1987). Toward a universal psychological structure of human values. *Journal of Personality and Social Psychology*, 53(3), 550–562. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.53.3.550>
- Seenath, A., Wilson, M., Miller, K. (2016). Hydrodynamic versus GIS modelling for coastal flood vulnerability assessment: Which is better for guiding coastal management? *Ocean and Coastal Management*, 120, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.11.019>

- Seidl, R., Aggestam, F., Rammer, W., Blennow, K., Wolfslehner, B. (2016). The sensitivity of current and future forest managers to climate-induced changes in ecological processes. *Ambio*, 45(4), 430–441. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0737-6>
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Clim Change* 7, 395–402 <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>
- Seidman, I. E. (2013). *Interviewing as qualitative research: A guide for researchers in education and the social sciences* (4th ed). New York, NY: Teachers College Press.
- Seppälä, R., Buck, A., Katila, P. (eds.). 2009. *Adaptation of Forests and People to Climate Change. A Global Assessment Report*. IUFRO World Series Volume 22. Helsinki. 224 p.
- Seppälä, J., Heinonen, T., Pukkala, T., Kilpeläinen, A., Mattila, T., Myllyviita, T., Asikainen, A., Peltola, H. (2019) Effect of increased wood harvesting and utilization on required greenhouse gas displacement factors of wood-based products and fuels. *J. Environ. Manag.*, 247 (2019), pp. 580-587, 10.1016/j.jenvman.2019.06.031
- Shaw, A., Sheppard, S., Burch, S., Flanders, D., Wiek, A., Carmichael, J., ... Cohen, S. (2009). Making local futures tangible—Synthesizing, downscaling, and visualizing climate change scenarios for participatory capacity building. *Global Environmental Change*, 19(4), 447–463.
- Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S.S., & Thakur, L.S. (2012). Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. *Expert Systems with Applications*, 39(9), 8182-8192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.149>
- Shen, L., Worrell, E., Patel, M.K. (2010) Environmental impact assessment of man-made cellulose fibers. *Resour. Conserv. Recycl.*, 55 (2010), pp. 260-274, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.10.001>
- Sink, D. S. (1983). Using the nominal group technique effectively. *National Productivity Review*, 2(2), 173–184.
- Sjöberg, L. (2000). The methodology of risk perception research. *Quality and Quantity*, 34, 407–418.
- Slovic, P., Peters, E. (2006). Risk perception and affect. *Current Directions in Psychological Science*, 15(6), 322–325. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2006.00461.x>
- Slovic, P., Finucane, M., Petere, E., MacGregor, D. (2004). Risk as analysis and risk as feelings: Some thoughts about affect, reason, and rationality. *Risk Analysis*, 24(2), 311–322.
- Smit, B., Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16, 282–292. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008>
- Smyth, C., Kurz, W. A., Rampley, G., Lemprière, T.C., Schwab, O. (2017) Climate change mitigation potential of local use of harvest residues for bioenergy in Canada. 2017. *GCB Bioenergy*, 9: 817–832.
- Smyth, C.E.; Stinson, G.; Neilson, E.; Lemprière, T.C.; Hafer, M.; Rampley, G.J.; Kurz, W.A. et al. (2014). Quantifying the biophysical climate change mitigation potential of Canada’s forest sector. *Biogeosciences* 11, 3515–3529
- Sohnngen B, Mendelsohn R, Sedjo R (2001) *J Agric Resource Econ* 26:326–343)
- Sohnngen, B. Mendelsohn, R. (1998). Valuing the market impact of large scale ecological change: the effect of climate change on U.S. timber. *American Economic Review* 88(4): 689–710.
- Sohnngen, B. Mendelsohn, R. (1999). The U.S. timber market impacts of climate change. Chapter 5 in: Mendelsohn, R. Neumann, J. (eds.). *The market impacts of climate change on the US economy*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Soimakallio, S., Saikku, L., Valsta, L., & Pingoud, K. (2016). Climate Change Mitigation Challenge for Wood Utilization-The Case of Finland. *Environmental science & technology*, 50 10, 5127-34 .

- B. Solberg, A. Moiseyev, A.M.I. Kallio (2003) Economic impacts of accelerating forest growth in Europe *Forest Policy Econ.*, 5 (2003), pp. 157-171
- Song, J.S., Lee, K.M. (2010). Development of a low-carbon product design system based on embedded GHG emissions. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(9), 547-556. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.10.012>
- Sonwa, D. J., Somorin, O. A., Jum, C., Bele, M. Y., Nkem, J. N. (2012). Vulnerability, forest-related sectors and climate change adaptation: The case of Cameroon. *Forest Policy and Economics*, 23, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2012.06.009>
- Soucy, Alyssa R., (2020). *Fostering Climate Change Resilience: A Socio-ecological Forest Systems Approach*. Electronic Theses and Dissertations. 3235. <https://digitalcommons.library.umaine.edu/etd/3235>
- Sousa-Silva, R., Ponette, Q., Verheyen, K., Herzele, A. Van, Muys, B. (2016). Adaptation of forest management to climate change as perceived by forest owners and managers in Belgium. *Forest Ecosystems*, 3(22), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40663-016-0082-7>
- Spence, A., Poortinga, W., Pidgeon, N. (2012). The psychological distance of climate change. *Risk Analysis*, 32(6), 957–972. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2011.01695.x>
- Spittlehouse, D.L., Stewart, R.B. (2003). Adapting to climate change in forest management. *BC Journal of Ecosystems and Management* (2004) 4(1):7–17 <http://www.forrex.org/jem/2003/vol4/no1/art1.pdf>
- Spittlehouse, D. L. (2005). Integrating climate change adaptation into forest management. *Forestry Chronicle*, 81(5), 691–695. <https://doi.org/10.5558/tfc81691-5>
- Steg, L. (2016). Values, norms, and intrinsic motivation to act proenvironmentally. *Annual Review of Environment and Resources*, 41(1), 277–292. <https://doi.org/10.1146/annurevenviron-110615-085947>
- Steg, L., Vlek, C. (2009). Encouraging pro-environmental behaviour: An integrative review and research agenda. *Journal of Environmental Psychology*, 29(3), 309–317. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.10.004>
- Ste-Marie, C., Nelson, E. A., Dabros, A., Bonneau, M. E. (2011). Assisted migration: Introduction to a multifaceted concept. *Forestry Chronicle*, 87(6), 724–730. <https://doi.org/10.5558/tfc2011-089>
- Stern, P., Dietz, T., Kalof, L. (1993). Value orientations, gender, and environmental concern. *Environment and Behavior*, 25(3), 322–348. <https://doi.org/10.1177/0013916593255002>
- St-Laurent, G. P., Hagerman, S., Kozak, R., Hoberg, G. (2018). Public perceptions about climate change mitigation in British Columbia's forest sector. *PLoS ONE*, 13(4), 1–25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195999>
- St-Laurent, G., Hagerman, S., Finde later, K. M., Kozak, R. (2019). Public trust and knowledge in the context of emerging climate-adaptive forestry policies. *Journal of Environmental Management*, 242(April), 474–486. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.065>
- Sundarakani, B., De Souza, R., Goh, M., Wagner, S.M., & Manikandan, S. (2010). Modeling carbon footprints across the supply chain. *International Journal of Production Economics*, 128(1), 43-50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.01.018>
- Sussman, F., Freed, J. (2008). Adapting to climate change: A business approach. Pew Center on Global Climate Change. <http://www.pewclimate.org/docUploads/Business-Adaptation.pdf>
- Sutherland, W. J., Dicks, L. V., Everard, M., Geneletti, D. (2018). Qualitative methods for ecologists and conservation scientists. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(1), 7–9.
- Swanston, C. W., Janowiak, M. K., Brandt, L. A., Butler, P. R., Handler, S. D., Shannon, P. D. St. Pierre, M. (2016). *Forest adaptation resources: Climate change tools and approaches for land managers* (2nd ed.). Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station

- Swanston, C., Brandt, L. A., Janowiak, M. K., Handler, S. D., Butler-Leopold, P., Iverson, L., ...Shannon, P. D. (2018). Vulnerability of forests of the Midwest and Northeast United States to climate change. *Climatic Change*, 146(1–2), 103–116. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2065-2>
- Tabari H, Marofi S, Aeni A, Talaei PH, Mohammadi K (2011) Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology* 151(2):128-136
- Tanase-Opedal, M.; Espinosa, E.; Rodríguez, A.; Chinga-Carrasco, G. (2019) Lignin: A Biopolymer from Forestry Biomass for Biocomposites and 3D Printing. *Materials* 2019, 12, 3006.
- Tengö, M., Brondizio, E. S., Elmqvist, T., Malmer, P., & Spierenburg, M. (2014). Connecting diverse knowledge systems for enhanced ecosystem governance: The multiple evidence base approach. *Ambio*, 43(5), 579-591.
- Tian et al. (2018) Tian, X. Sohngen, B. Baker, J. Ohrel, S.B. Fawcett A. (2018) Will U. S. forests continue to be a carbon sink? *Land Econ.*, 94 (1) (2018), pp. 97-113, <https://doi.org/10.3368/le.94.1.97>
- Toivio, J., Helmisaari, H., Palviainen, M., Lindeman, H., Ala-Ilomäki, J., Sirén, M., & Uusitalo, J. (2017). Impacts of timber forwarding on physical properties of forest soils in southern Finland. *Forest Ecology and Management*, 405, 22-30.
- Tremblay, J. P., Huot, J., Potvin, F. (2007). Density-related effects of deer browsing on the regeneration dynamics of boreal forests. *Journal of Applied Ecology*, 44(3), 552–562. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01290.x>
- Tukey, J.W. (1997). *Exploratory data analysis*. Reading, PA: Addison-Wesley.
- Turner, B. L., Polsky, C., Christensen, L., Matson, P. A., Eckley, N., Martello, M. L., ...Pulsipher, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8074–8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- Tyndall Centre for Climate Change Research. Visser, P., Krosnick, J., Lavrakas, P. (2000). Survey research. In H. Reis C. Judd (Eds.), *Handbook of research methods in social and personality psychology* (pp. 223–252). New York, NY: Cambridge University Press.
- UNDP. (2017). Application of the sustainable livelihoods framework in development projects. Retrieved from [https://www.undp.org/content/dam/rblac/docs/Research\\_and\\_Publications/Poverty\\_Reduction/UNDP\\_RBLAC\\_Livelihoods\\_Guidance\\_Note\\_EN-210July2017.pdf](https://www.undp.org/content/dam/rblac/docs/Research_and_Publications/Poverty_Reduction/UNDP_RBLAC_Livelihoods_Guidance_Note_EN-210July2017.pdf)
- United Nations (2020) *Shaping the Trends of Our Time*. Report of the UN Economist Network for the UN 75th Anniversary. September 2020
- Van Damme L (2008) Can the forest sector adapt to climate change? *For Chron* 84:633–634
- van der Linden, S. (2014a). The social-psychological determinants of climate change risk perceptions, intentions and behaviour: A national study. PhD thesis. London School of Economics and Political Science. <https://doi.org/10.1002/ejsp2008>
- van der Linden, S. (2014b). Towards a new model for communicating climate change. In S. Cohen, J. Higham, P. Peeters, and S. Gössling (Eds.), *Understanding and governing sustainable tourism mobility: Psychological and behavioural approaches* (pp. 243–275). New York, NY: Taylor & Francis.
- van der Linden, S. (2015). The social-psychological determinants of climate change risk perceptions: Towards a comprehensive model. *Journal of Environmental Psychology*, 41, 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.11.012>
- van Kooten, G.C., C.S. Binkley, G. Delcourt (1995) Effect of carbon taxes and subsidies on optimal forest rotation age and supply of carbon services. *Am. J. Agric. Econ.*, 77 (1995), pp. 365-374
- van Kooten G.C., (1999) Economic Dynamics of Tree Planting for Carbon Uptake on Marginal Agricultural Lands. Working Paper 1999-18. Sustainable Forest Management Network (1999)

- van Kooten, G.C., Johnston, C. (2016) The Economics of Forest Carbon Offsets. *Annual Review of Resource Economics*, Vol. 8, Issue 1, p. 227-246, 2016 <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-resource-100815-095548>
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M. et al. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109, 5 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- Vanoppen, A., Boeckx, P., De Mil, T., Kint, V., Ponette, Q., Van den Bulcke, J., Verheyen, K., Muys, B., (2018) Climate driven trends in tree biomass increment show asynchronous dependence on tree-ring width and wood density variation, *Dendrochronologia*, Volume 48, 2018, p. 40-51 <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.02.001>
- Vaske, J. J. (2008). *Survey research and analysis: Applications in parks, recreation and humandimensions*. State College, PA: Venture Publishing.
- Vincent, K. (2004). *Creating an index of social vulnerability to climate change for Africa (Working paper 56)*.
- Vose, J., Person, D., Patel-Weynard, T. (2012). *Effects of climatic variability and change on forest ecosystems: A Comprehensive science synthesis for the U.S. forest sector (Report No. PNW-GTR-870)*. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Vulturius, G., Swartling, Å. G. (2015). Overcoming social barriers to learning and engagement with climate change adaptation: Experiences with Swedish forestry stakeholders. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 30(3), 217–225. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.1002218>
- Vulturius, G., André, K., Swartling, Å. G., Brown, C., Rounsevell, M. (2020). Does climate change communication matter for individual engagement with adaptation? Insights from forest owners in Sweden. *Environmental Management*, 65(2), 190–202. <https://doi.org/10.1007/s00267-019-01247-7>
- Wagner, R. G., Bryant, J., Burgason, B., Doty, M., Roth, B., Strauch, P., ... Denico, D. (2015). *Coming spruce budworm outbreak: Initial risk assessment and preparation and response recommendations for Maine's forest community*. Orono, ME: Cooperative Forestry Research Unit, Maine Forest Products Council, Maine Forest Service.
- Waldron, K., Lussier, J. M., Thiffault, N., Bujold, F., Ruel, J. C., St-Onge, B. (2016). The Delphi method as an alternative to standard committee meetings to identify ecological issues for forest ecosystem-based management: A case study. *Forestry Chronicle*, 92(4), 453–464.
- Wang, W. J., He, H. S., Thompson, F. R., Fraser, J. S., Dijak, W. D. (2017). Changes in forest biomass and tree species distribution under climate change in the northeastern United States. *Landscape Ecology*, 32(7), 1399–1413.
- Weber, E. U. (2010). What shapes perceptions of climate change? *WIREs Climate Change*, 1, 332–342.
- Weed, A. S., Ayres, M. P., Hicke, J. A. (2013). Consequences of climate change for biotic disturbances in North American forests. *Ecological Monographs*, 83(4), 441–470. <https://doi.org/10.1890/13-0160.1>
- Welp, M., de la Vega-Leinert, A., Stoll-Kleemann, S., Jaeger, C. C. (2006). Science-based stakeholder dialogues: Theories and tools. *Global Environmental Change*, 16(2), 170–181.
- Werner, F., Richter, K. (2007) *Wooden building products in comparative LCA*. *Int J Life Cycle Assess* 12, 470 (2007). <https://doi.org/10.1065/lca2007.04.317>
- Williamson, T. B., Parkins, J. R., McFarlane, B. L. (2005). Perceptions of climate change risk to forest ecosystems and forest-based communities. *The Forestry Chronicle*, 81, 710–716.
- Williamson, T., Hessel, H., Johnston, M. (2012). Adaptive capacity deficits and adaptive capacity of economic systems in climate change vulnerability assessment. *Forest Policy and Economics*, 24, 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2012.09.006>
- Windfeld, E. J., Ford, J. D., Berrang-Ford, L., McDowell, G. (2019). How do community level climate change vulnerability assessments treat future vulnerability and integrated diverse datasets? A review of the literature. *Environmental Reviews*, 27(4), 427–434. <https://doi.org/10.1139/er-2018-0102>

- Wolf, J., Moser, S. C. (2011). Individual understandings, perceptions, and engagement with climate change: Insights from in-depth studies across the world. *WIREs Climate Change*, 2(4), 547-569.
- Wolf, K. L., Kruger, L. E. (2010). Urban forestry research needs: A participatory assessment process. *Journal of Forestry*, 108(1), 39-44.
- Wu, S. Y., Yarnal, B., Fisher, A. (2002). Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: A case study of Cape May County, New Jersey, USA. *Climate Research*, 22(3), 255-270. <https://doi.org/10.3354/cr022255>
- Xia, Y., K. Mitchell, M. Ek, J. Sheffield, B. Cosgrove, E. Wood, L. Luo, C. Alonge, H. Wei, J. Meng, B. Livneh, D. Lettenmaier, V. Koren, Q. Duan, K. Mo, Y. Fan, and D. Mocko. (2012). Continental-scale water and energy flux analysis and validation for the North American Land Data Assimilation System project phase 2 (NLDAS-2): 1. Intercomparison and application of model products. *Journal of Geophysical Research*, 117(D3). doi:10.1029/2011JD016048
- Yang, H., & Zhang, J. (2011). The strategies of advancing the cooperation satisfaction among enterprises based on low carbon supply chain management. Paper presented at the 2010 International Conference on Energy, Environment and Development, Kuala Lumpur.
- Yoon, J. I., Kyle, G. T., van Riper, C. J., Sutton, S. G. (2013). Testing the effects of constraints on climate change-friendly behavior among groups of Australian residents. *Coastal Management*, 41(6), 457-469. <https://doi.org/10.1080/08920753.2013.841354>
- Yousefpour, R., Hanewinkel, M. (2015). Forestry professionals' perceptions of climate change, impacts and adaptation strategies for forests in south-west Germany. *Climatic*
- Yousefpour, R., Nabel, J. E. M. S., Pongratz, J. (2019) Simulating growth-based harvest adaptive to future climate change. *Biogeosciences* 16, 241-254.
- Zhu J, Shi Y, Fang L, Liu X, Ji C. Patterns and determinants of wood physical and mechanical properties across major tree species in China. *Sci China Life Sci.* 2015 Jun;58(6):602-12. <https://doi.org/10.1007/s11427-015-y>

## Índice de figuras

Figura 1 Diagrama de interacciones en el sector del aserrado .....	7
Figura 2 Comercio internacional de madera en rollo (coníferas y no coníferas) 2017 .....	8
Figura 3 Comercio internacional de madera aserrada (coníferas y no coníferas) 2017 .....	8
Figura 4 Comercio Intracomunitario UE 28 de madera en rollo de coníferas 2017 .....	9
Figura 5 Comercio Intracomunitario UE 28 de madera aserrada de coníferas 2017 .....	9
Figura 6 Esquema de la RCPs - IPCC.....	20
Figura 7 Esquema de las SSP en función de mitigación y adaptación .....	24
Figura 8 Escenarios RCP-SSP .....	24
Figura 9 Evolución de diferentes variables socioeconómicas para cada SSP: .....	25
Figura 10 Cambios en usos de suelo para las distintas SSP .....	26
Figura 11 Estructura de energía primaria (A y B) y demanda de energía final (C) de las SSP.....	27
Figura 12 Esquema de las FSP en función del crecimiento económica y la desigualdad .....	32
Figura 13 FSPs en función de la previsible evolución del Área Forestal .....	35
Figura 14 FSPs en función de la previsible evolución de la Productividad del sector forestal .....	35
Figura 15 FSPs en función de la aplicación de incentivos forestales por sumidero de carbono .....	36
Figura 16 FSPs en función de la previsible demanda de productos forestales.....	36
Figura 17 Evolución 2015-2105 del consumo global estimado de madera (Mm <sup>3</sup> ).....	42
Figura 18 Aprovechamiento de madera históricos y futuros en función de las SSP .....	46
Figura 19 Evolución 2015-2105 de los precios de madera en fábrica (\$/m <sup>3</sup> ) .....	49
Figura 20 Interacciones entre agentes responsables de perturbaciones en masas forestales .....	59
Figura 21 Perturbaciones globales por cambios de temperatura y disponibilidad de agua. ....	60
Figura 22 Disminución del potencial laboral con la temperatura .....	72
Figura 23 Estimación de pérdida de trabajo al exterior por países hasta 2050 .....	72
Figura 24 Distribución geográfica de los cambios en las horas de trabajo efectivo (%) para el periodo 2036-65 y las RCP 4.5 y RCP 8.5.....	73
Figura 25 Evolución de pérdidas por catástrofes naturales 1970-2017 .....	76
Figura 26 Evolución del número de catástrofes naturales y su cobertura de seguros.....	76
Figura 27 Esquema del impacto en la cadena de suministro .....	84
Figura 28 El proceso iterativo de adaptación .....	92
Figura 29 El ciclo de carbono en el ecosistema-tecnosistema forestal .....	99
Figura 30 Emisiones de C acumuladas de la fabricación de materiales necesarios para edificios de nuevos habitantes urbanos en 2020-2050 .....	106
Figura 31 Comparación de la demanda proyectada de madera necesaria para la construcción y el suministro de madera mundial. ....	106

## Índice de tablas

Tabla 1 Impactos del cambio climático en las tendencias de fondo .....	11
Tabla 2 Impactos de cada una de las cuatro tendencias de fondo en el cambio climático.....	12
Tabla 3 Ejemplos de estimación de impactos del Cambio Climático en el sector forestal.....	15
Tabla 4 Descripción de las Representative Concentration Pathways - RCPs.....	20
Tabla 5 Descripción de las Shared Socioeconomic Pathways IPCC.....	23
Tabla 6 Relación de factores claves con las SSP .....	28
Tabla 7 Descripción de las The Forest Sector Pathways – FSPs.....	30
Tabla 8 Resumen de los aspectos clave de cada FSP.....	33
Tabla 9 Resumen de las tenedencias de consumo de productos forestales para cada FSP.....	43
Tabla 10 Impactos estimados del cambio climático en producción y retorno al productor .....	47
Tabla 11 Evolución 2010-2100 de variables productivas según modelos de simulación .....	47
Tabla 12 EU-28 Balance de Recursos Madereros (2013).....	52
Tabla 13 Cambios porcentuales de Prod. Primaria Neta bajo RCP 8.5 respecto a línea base .....	55
Tabla 14 Procesos clave de la influencia climática en el régimen de perturbaciones.....	59
Tabla 14 Tasa de mortalidad (%) de las masas forestales bajo RCP 8.5 .....	61
Tabla 16 Tipología de los riesgos / impactos del cambio climático en la cadena de suministro.....	79
Tabla 17 Efectos del Cambio Climático y Adaptaciones en la cadena de suministro .....	110

*“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”*