



Sociedad Española
de Ciencias Forestales

Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 49(2): 1-30 (2023)
Doi: <https://doi.org/10.31167/csef.v0i49.19941>

Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales

Acceso abierto disponible en <http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernossecf/index>

Conferencias y Ponencias del 8º Congreso Forestal Español

Conservar aprovechando: oportunidades y retos del siglo XXI

**Conservation by harvesting:
opportunities and challenges of the XXI century**

Eduardo Tolosana Esteban¹

¹*Dr. Ingeniero de Montes, Licenciado en Geografía e Historia
E.T.S.I. Montes, Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid*

* Autor de correspondencia: eduardo.tolosana@upm.es

Resumen

El ser humano —e incluso otras especies próximas—, como parte de la naturaleza, han utilizado los recursos naturales desde épocas prehistóricas, tanto a través del fuego como herramienta de cambio de su entorno como para aprovecharlos de forma directa, inicialmente mediante su recolección y la caza. El uso de la madera como material agrícola y de construcción y, sobre todo, como combustible, acabó llevando a su escasez, ante la que la incipiente ciencia forestal creó el concepto de sostenibilidad y las bases de la dasonomía, convirtiendo al aprovechamiento ordenado en una base de la conservación de los bosques. Este aprovechamiento se ha desarrollado tecnológicamente, sobre todo desde la revolución industrial, hacia una creciente mecanización. Además, en las últimas décadas, está incorporando la digitalización y la automatización, entre otras innovaciones que contribuyen a hacerlo más eficiente pero también más respetuoso con el medio ambiente. El presente trabajo ofrece un recorrido por la historia de esa evolución técnica —describiendo cuantitativa y cualitativamente por primera vez la situación actual de la mecanización del aprovechamiento forestal en España— y trata las perspectivas futuras de su desarrollo. En este momento del siglo XXI nos encontramos con sólidas oportunidades (por la necesidad de herramientas para una nueva gestión adaptada al cambio climático y la mitigación de los riesgos que conlleva, pero sobre todo por la nueva bioeconomía con una demanda creciente de madera para productos sostenibles de alto valor añadido, y por las crecientes posibilidades de aplicación de nuevas tecnologías a las propias operaciones del aprovechamiento). Pero también debemos afrontar retos importantes, de carácter social (falta de profesionales, incompreensión o rechazo por la opinión pública urbana) y de carácter técnico y económico (necesidad de reducción de los impactos ambientales desfavorables y de los costes de los aprovechamientos, especialmente en los bosques con restricciones medioambientales, los situados en fuertes pendientes, los de árboles pequeños o especies no comerciales y los matorrales). Recorreremos algunas soluciones que se exploran en el momento actual para aprovechar esas oportunidades y afrontar esos retos, no solamente a través de innovaciones tecnológicas sino también de iniciativas relacionadas con la comunicación social y la educación.

Palabras claves: *historia del aprovechamiento, mecanización forestal, desarrollo tecnológico, maquinaria forestal, comunicación forestal, educación ambiental, gestión forestal 4.0.*

Summary

Human beings —and even other related species—, as part of nature, have used natural resources since prehistoric times, both through fire as a tool to change their environment and to take advantage of them directly, initially by collection and hunting. The use of wood as agricultural and construction material and, above all, as fuel, ended up leading to its scarcity, before which the incipient forestry science created the concept of sustainability and the bases of forestry, turning orderly use into a basis of forest conservation. This use has developed technologically, especially since the industrial revolution, towards increasing mechanization. In addition, in recent decades, it has been incorporating digitization and automation, among other innovations that contribute to making it more efficient but also more respectful of the environment. The present work offers a journey through the history of this technical evolution —describing quantitatively and qualitatively for the first time the current situation of the mechanization of forest harvesting in Spain— and discusses the future perspectives of its development. At this moment in the 21st century we find ourselves with solid opportunities (due to the need for tools for a new management adapted to climate change and the mitigation of the risks that it entails, but above all due to the new bioeconomy with a growing demand for wood for sustainable products of high added value, and due to the increasing possibilities of applying new technologies to the harvesting operations themselves). But we must also face important challenges, of a social nature (lack of professionals, misunderstanding or rejection by urban public opinion) and of a technical and economic nature (need to reduce unfavourable environmental impacts and the harvesting costs, especially in the forests with environmental restrictions, those located on steep slopes, those with small trees or non-commercial species and shrublands). We will go through some solutions that are currently being explored to take advantage of these opportunities and face these challenges, not only through technological innovations but also through initiatives related to social communication and education.

Keywords: *history of harvesting, forest mechanization, technological development, forest machinery, forest communication, environmental education, forest management 4.0.*

1. Antecedentes: el ser humano ante los recursos forestales

El ser humano ha evolucionado como una especie animal singular en la biosfera terrestre, una especie caracterizada por su capacidad de cambiar su entorno a través del uso de herramientas. Por eso algunos autores han hablado de *Homo faber* en lugar del nombre oficial de nuestra especie, *Homo sapiens* (Arendt, 1958). Pero esta capacidad de modificación del entorno es incluso anterior a nuestra propia especie.

El uso del fuego está documentado en un yacimiento israelí hace 790.000 años, por una especie anterior a la nuestra, probablemente *Homo erectus* (Goren-Inbar *et al.*, 2004) No obstante, el dominio del fuego en Europa y su utilización de forma habitual se data entre los años 400.000 y 300.000 antes del presente, y no sería hasta *H. neandertalensis*, mucho después, cuando el fuego se convierte en una parte integral del repertorio tecnológico de estos homínidos, no sólo para calentarse y cocinar, sino para tratar diversos materiales - por ejemplo, para producir adhesivos para la fabricación de herramientas líticas calentando corteza de abedul (Roebroeks & Villa, 2011).

La primera evidencia documentada del uso del fuego para la modificación extensiva del entorno data de unos 125.000 años atrás, por parte de la misma especie, que mantuvo un paisaje abierto en el valle de Neumark-Nord, en Alemania, durante unos 2.000 años de actividad (Roebroeks *et al.*, 2021). Milenios después, se ha documentado la actividad de modificación del paisaje, ahora ya por *H. sapiens* y desde hace 85.000 años, en el entorno del lago Malawi, manteniendo paisajes abiertos mediante el uso del fuego durante decenas de miles de años (Thompson *et al.*, 2021).

Estos hallazgos científicos llevan a contemplar a la especie humana como un gran agente modelador del paisaje y los ecosistemas desde la remota antigüedad, incluso con medios de vida y tecnologías primitivos y con densidades de población muy inferiores a la actual, como se ha demostrado en las pruebas de la influencia humana en la época precolombina sobre la composición de la vegetación en la Amazonía brasileña (Levis *et al.*, 2017).

El carácter precadero de los recursos forestales ha hecho que se conozca mucho peor la evolución de su uso que la de las herramientas líticas. No obstante, la sofisticación y el desarrollo tecnológico primitivo para el aprovechamiento de los recursos biológicos (a menudo, forestales) es muy superior a lo que se suele pensar desde épocas muy antiguas. Un testimonio muy significativo es el de Ötzi, el llamado Hombre de Hielo, un cadáver momificado de principios de la edad de bronce —hace unos 5.300 años— que dejó al descubierto la retirada de un glaciar alpino en 1991 (Sulzenbacher, 2009). Su cuerpo se recuperó junto a un conjunto de vestimenta y útiles muy variados, todos de origen forestal, desde un hacha de bronce con mango de tejo hasta flechas de durillo con puntas de sílex, un recipiente de abedul donde transportaba ascuas (además de otro para transportar provisiones o beber agua), fragmentos de hongo yesquero para hacer fuego y de otros hongos del abedul con propiedades medicinales, y ropa y calzado de pieles y fibras, suficientemente abrigadas para el paso de alta montaña que se disponía a atravesar cuando una flecha le alcanzó por

la espalda provocándole la muerte. La llamada momia del glaciar y toda su equipación se pueden admirar hoy en un museo en Bolzano, al norte de Italia.

El uso por el ser humano y sus diversas civilizaciones de los recursos forestales se fue intensificando, pero antes de nuestra era del petróleo (en que hemos consumido en menos de trescientos años buena parte de los recursos fósiles que los bosques produjeron durante más de trescientos millones de años), se puede hablar con toda propiedad de una bioeconomía forestal: tanto la mayor parte de la energía como numerosos materiales agrícolas o de construcción y medios de transporte terrestre y naval empleados por la humanidad tuvieron su origen en los bosques.

Así lo atestigua el nombre castellano de la madera como combustible, la leña, que proviene del latín *lignum* (madera), o el propio sustantivo madera, que como principal materia prima que fue, proviene del latín *materia*, emparentado a su vez con la raíz *mater* (madre).

Tampoco se puede olvidar el papel de los recursos forestales en la difusión de la cultura, recurriré de nuevo a la etimología para recordar que la palabra libro proviene del latín *liber*, que designa a la parte interna de la corteza arbórea, uno de los primeros soportes de la letra escrita desde antes de nuestra era, como nos refiere Plinio (Vallejo, 2019). Códice también proviene de *caudex* (tronco de árbol en latín).

En cuanto al uso de la madera en la construcción, según algunos autores se encuentran estructuras de habitación compuestas por ramas soportadas en troncos con función de pilares correspondientes a *Homo erectus*, hace unos 400.000 años, en el yacimiento italiano de Terra Amata (de Lumley, 1969). Más comunes son cabañas correspondientes a *H. neandertalensis*, en yacimientos bastante posteriores en Centroeuropa. En España, la mayor estructura de habitación de madera se ha excavado en una zona sumergida del lago de Banyoles (Girona), en el yacimiento de La Draga, correspondiente a la época neolítica antigua (7.000 – 7.500 años antes del presente), donde se han encontrado más de un millar de postes que constituyeron los soportes de estructuras aéreas como plataformas y paredes, junto con más de un centenar de piezas que tuvieron una disposición horizontal en esas estructuras de habitación, en ambos casos de roble (Terradas *et al.*, 2019).

2. El nacimiento del concepto de sostenibilidad y de la ciencia forestal

El crecimiento demográfico y los usos intensivos de la leña como combustible (cocción de ladrillo, tejas y cerámica, minería, ferrerías, calefacción y cocina en las primeras ciudades), junto con el cambio de terrenos forestales a usos agrícolas o ganaderos, llevaron en muchos casos a la sobreexplotación del recurso, que provocó crisis en varias civilizaciones (Perlin, 1999; Diamond, 2011).

La incipiente pre-revolución industrial en Centroeuropa intensificó el uso de madera y leña como recursos energéticos, lo que condujo a tomar conciencia de los riesgos de su escasez debida en parte al aprovechamiento desordenado. A finales del s. XVII, Von Carlowitz, un economista alemán que trabajaba como administrador de minas en Sajonia, publicó el texto *Sylvicultura Oeconomica*, una recopilación del co-

nocimiento sobre el manejo forestal de la época, en que aparece por primera vez la palabra “sostenibilidad” (*nachhaltigkeit*). A finales del siglo XVIII y principios del XIX se crean las primeras escuelas de Ingeniería Forestal en Alemania y, algo después, en Francia. En España se crea la Escuela Especial de Ingenieros de Montes en 1846, bajo la máxima “Aprovechar conservando”.

Hoy, cuando la prioridad social en relación con los recursos forestales es su conservación, muy bien podríamos cambiar el orden de ese lema a “Conservar aprovechando”, para no olvidar la importancia fundamental que el aprovechamiento tiene para el mantenimiento del uso forestal.

La mayor amenaza para los bosques, especialmente en el mundo en desarrollo, es el cambio de uso, que se produce cuando los gobiernos, las empresas e incluso las comunidades rurales perciben que otros usos (cultivos, estancias ganaderas, minas, plantaciones industriales o agricultura de subsistencia) son más beneficiosos que mantener el uso forestal. Indudablemente, un aprovechamiento que beneficie a la comunidad circundante y genere ingresos y empleos, es una garantía de conservación. Por otro lado, el aprovechamiento es la herramienta (y cuando se autofinancia, el principal motor) para regular la densidad de los bosques, y en este tiempo de cambio climático, es una herramienta fundamental para reducir los crecientes riesgos, particularmente por su papel en la prevención de incendios, pero también de enfermedades, plagas y daños por viento o nieve. Hay que resaltar que, en superficie, más de la mitad de las cortas en España son cortas selectivas, las llamadas cortas de mejora o de inicio de la regeneración, destinadas a mejorar el estado vegetativo y la estructura de los bosques.

La historia forestal de España es testimonio de esa realidad, y ha sido objeto de muy interesantes estudios, desde Bauer (1992), pasando, por ejemplo, por Valdés y Gil (1998). Pero en esta comunicación me centraré en el desarrollo, muy reciente, de la mecanización forestal en de los aprovechamientos en España.

Antes de ello, hay que recorrer la evolución histórica global de la tecnología para el apeo, elaboración, desembosque y transporte de madera.

Comenzando por el apeo y elaboración, la primera herramienta es el hacha de piedra, que experimentó grandes avances tecnológicos con la mejora de las técnicas de talla y pulimento y, finalmente, con la aplicación de los metales. Se desarrolló posteriormente el tronizador o sierra de dos mangos e incluso, en el s. XIX, se aplicó el motor de explosión a sierras vibratorias que debían portarse por dos personas, pero el gran salto tecnológico se produjo a mediados del s. XX, con el desarrollo de la cadena de corte basada en el diente gubia, inspirado por la observación del comportamiento de una larva xilófaga (Muñoz Sastre *et al.*, 2011), y la aplicación del motor de combustión interna de dos tiempos a la motosierra, primera máquina mecánica portátil para la corta y elaboración de árboles.

La evolución de la oleohidráulica permitió, un poco más avanzado el s. XX, el desarrollo de maquinaria de apeo y procesado, las taladoras-apiladoras, procesadoras y cosechadoras forestales. A partir de las últimas décadas del s. XX, los avances de la electrónica han permitido mejorar en muchos aspectos estas máquinas (sensorización, control de la presión sobre los suelos, programación para optimización del valor de los productos, sistemas de detección y extinción automáticas de incendios, etc.).

Con respecto a las técnicas de extracción y transporte, originalmente se empleaban animales, cuya eficacia en terreno llano ganó con la invención de la rueda y los carros, el trineo y otras plataformas de deslizamiento. En el transporte, se conocen testimonios muy antiguos de transporte naval, pasivo —por flotación en ríos y lagos— o activo, con remolcado por barcos de vela y/o remos. La máquina de vapor supuso un avance y se aplicó tanto al transporte fluvial y marítimo como al ferrocarril en transporte terrestre. De nuevo el motor de explosión trajo consigo el desarrollo de tractores, originalmente arrastrando madera o con remolques cargados mediante grúas mecánicas, y de camiones, también cargados mecánicamente por fuerza manual o de animales. Finalmente, la oleohidráulica permitió, como en el caso anterior, el desarrollo de grúas hidráulicas y numerosas mejoras en el diseño de los tractores forestales, en los que la electrónica ha permitido también grandes avances en las últimas décadas.

Esta evolución tecnológica ha traído consigo un gran incremento de productividad hasta el inicio del s. XXI, a partir de ese momento la productividad se mantiene constante porque los esfuerzos de mejora se comienzan a centrar en incrementar el valor de los productos (Brown *et al.*, 2020), como muestran las *Figuras 1 y 2*.

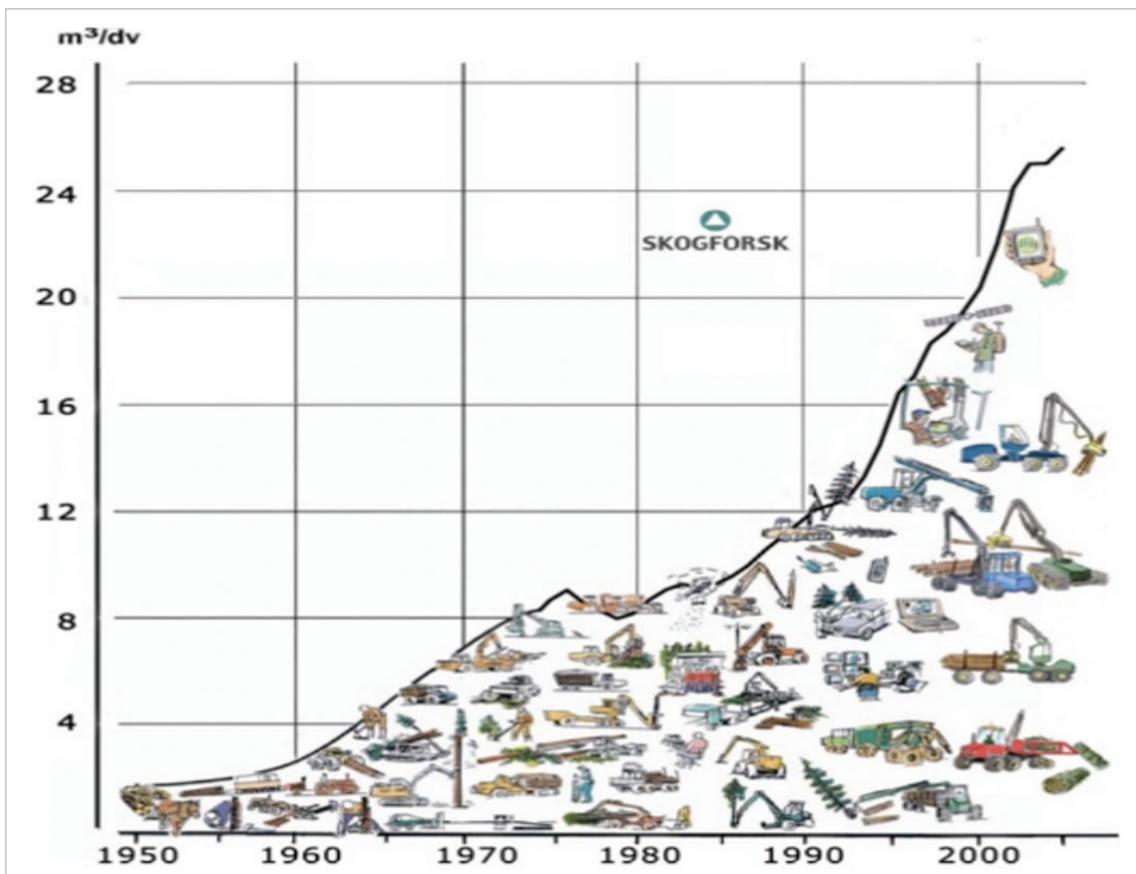


Figura 1. : Evolución de la productividad (m³ por persona y día) en Suecia desde 1950 hasta principios del s. XXI

Fuente: Skögforsk

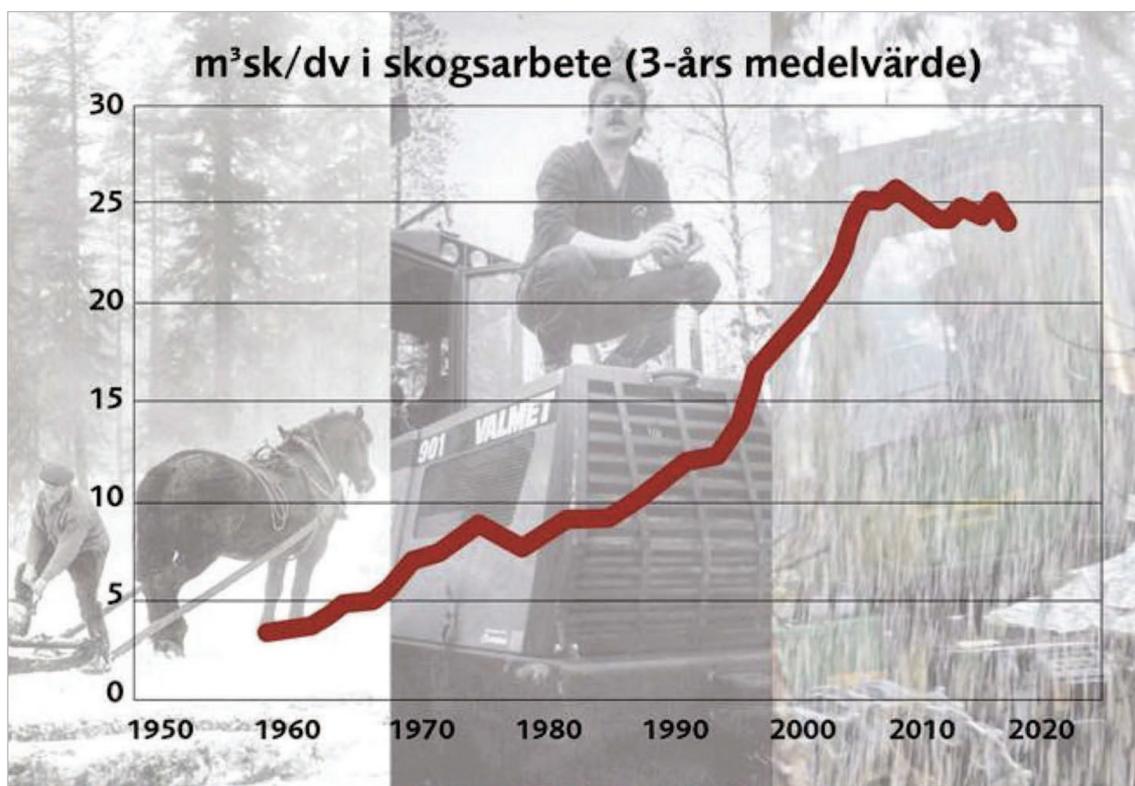


Figura 2. Evolución de la productividad en Suecia entre 1958 y 2013, en m³ por persona y día.

Fuente: : Skögforsk, en Brown *et al.*, 2020

Como una novedad reciente en este campo, debido al aumento del aprovechamiento de biomasa forestal, en los años 90 del siglo pasado nació un nuevo tipo de máquina, las empacadoras forestales, que siguen teniendo un desarrollo creciente en este ámbito.

3. La situación actual de la mecanización de los aprovechamientos en España

No existe una estadística oficial suficientemente detallada para cuantificar con exactitud la evolución de la mecanización e, incluso en mayor medida, la productividad en los aprovechamientos en España.

No obstante, contamos con estimaciones por una empresa de distribución de maquinaria (Forest Pioneer) basadas en toma de datos a potenciales clientes sobre las máquinas activas, que se han completado con las indicaciones de fabricantes españoles (Monra, Industrias Guerra, Dingomasa y Forcar) y otros distribuidores en la península (Guipuzcoana Forestal, Hitraf, Logmax y Hermanos Toimil).

La evolución estimada de estas máquinas, por su tipo, se representa en la *Figura 3*, en la que hay ciertas incertidumbres:

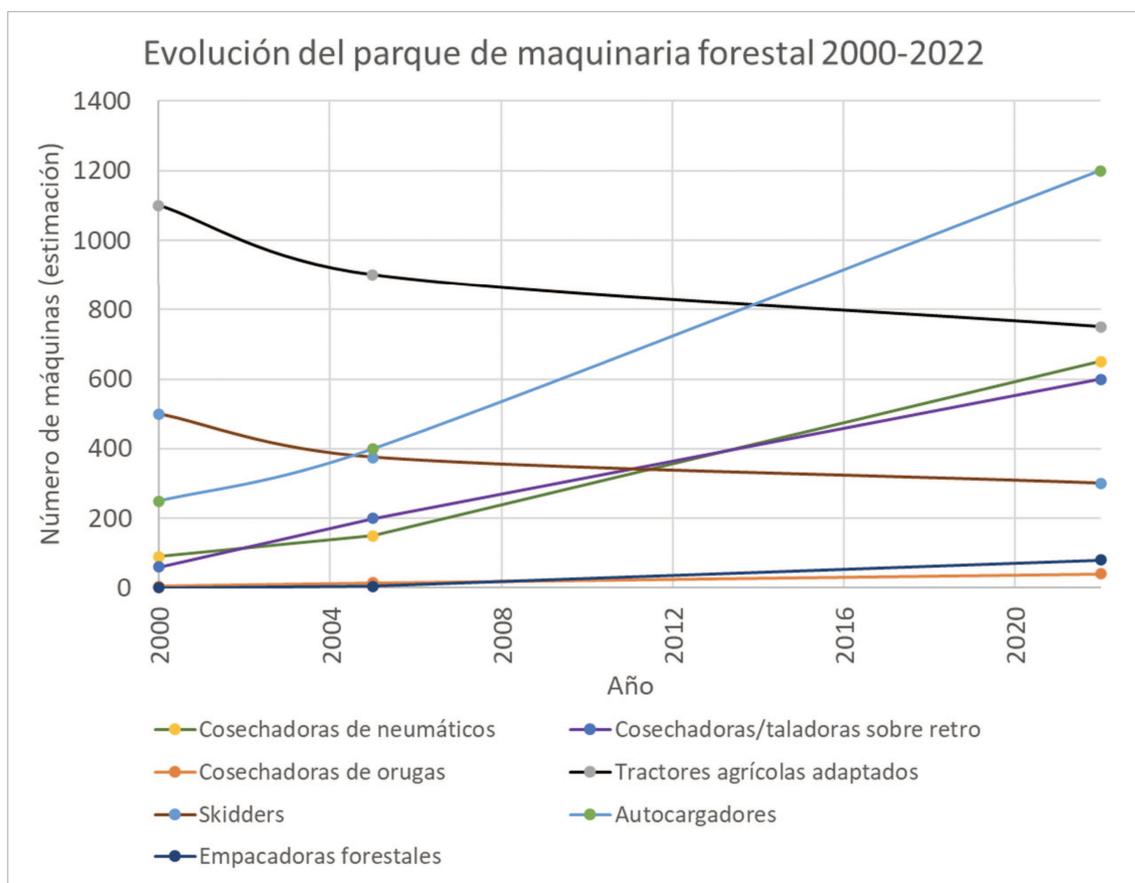


Figura 3. Evolución estimada del parque de maquinaria forestal en España.

Fuente: elaboración propia a partir de fuentes empresariales e industriales.

- Parte de las máquinas declaradas como comercializadas o fabricadas por algunas de las empresas puede haberse achatarrado o destruido por distintos motivos: No se considera que esa proporción supere en mucho el 10%, porcentaje alrededor del cual se han reducido las cifras, según la antigüedad de la actividad de las empresas, en los casos en que sólo se contaba con el número de unidades fabricadas o comercializadas.
- Parte de las máquinas declaradas como comercializadas o fabricadas pueden haber acabado en otros países, sobre todo en Portugal o, con menor frecuencia, en Francia. También hay una proporción de máquinas en el mercado español que proceden de esos países o incluso que han sido adquiridas directamente y no a través de los fabricantes o distribuidores (principalmente en el mercado de segunda mano).

La distribución del parque de máquinas estimado por tipos de máquina se representa, para las máquinas de apeo y elaboración, en la *Figura 4* y para las máquinas de desembosque, en la *Figura 5*. El reparto porcentual estimado entre las principales marcas, sus fabricantes o distribuidores, se muestra en la *Tabla 1*, que no reco-

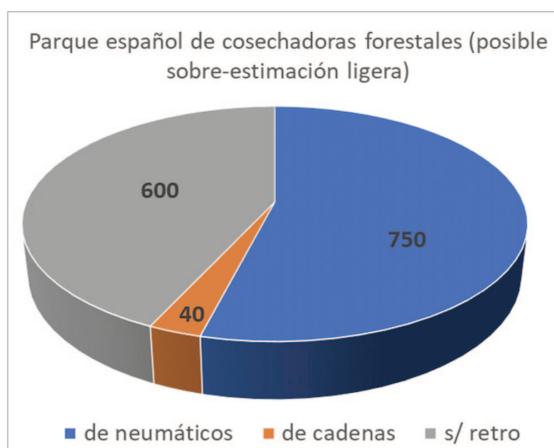


Figura 4. Distribución de las máquinas de apeo y procesado por tipos.

Fuente: elaboración propia con datos empresariales.

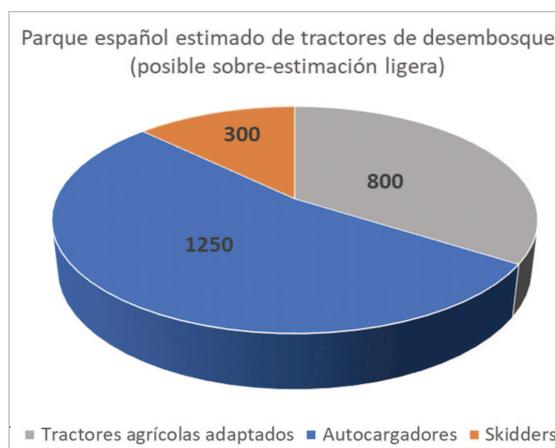


Figura 5. Distribución de las máquinas de desemboque por tipos.

Fuente: elaboración propia con datos empresariales.

ge algunas máquinas que son distribuidas por otras empresas de ámbito más amplio, como las pretrituradoras, trituradoras, astilladoras, máquinas de obras públicas tipo dumper que funcionan como autocargadores o palas cargadoras de horquilla, frecuentes en las choperas.

Tabla 1. Distribución estimada (en porcentaje del total) del parque de maquinaria por distribuidores/fabricantes y marcas.

% de distribución aproximado entre fabricantes / distribuidores y marcas	Guifor (John Deere-Timberjack, Neuson,...)	Industrias Guerra (IGSA)	DingomaSA	Monra Forestal	Hitraf (Komatsu-Valmet, Valtra, ...)
Cosechadoras neumáticos	26	0	0	0	39
Cosechadoras cadenas	25	0	0	0	0
Cabezales sobre retro	3	45	0	17	3
Tractores agrícolas adaptados	0	44	0	0	37
Autocargadores	23	0	23	0	10
Skidders	73	0	0	0	0
Empacadoras	18	0	0	74	0
% de distribución aproximado entre fabricantes / distribuidores y marcas (continuación)	LogMax (Logmax, Ecolog, Bracke, ...)	Forcar	Forest Pioneer AFM Forest TimberPro, Quadco, Logset, Neuson)	Hermanos Toimil, (Toimil, Ponse, Nisula)	Otros
Cosechadoras neumáticos	8	0	2	15	11
Cosechadoras cadenas	0	0	35	0	40
Cabezales sobre retro	12	0	13	0	7
Tractores agrícolas adaptados	0	0	0	13	6
Autocargadores	6	16	0	11	11
Skidders	0	0	0	0	27
Empacadoras	0	0	0	0	8

La mecanización ha crecido de una forma muy notable en las últimas dos décadas, si bien no ha ocurrido de un modo tan uniforme como parece en la gráfica de la *Fig. 3*. Uno de los desencadenantes principales fueron los derribos por viento que afectaron sobre todo a Francia en 1999 y 2009-2010; especialmente en el primer caso, se produjo una afluencia de empresarios españoles de aprovechamientos a Francia, que ante las oportunidades de negocio sostenidas que suponía el suministro asegurado de madera derribada durante varios años, optaron por invertir en máquinas. También ha contribuido mucho a esta situación la falta de personal para trabajos no mecanizados (motoserristas y apiladores), dada su dureza, peligrosidad y relativa mala remuneración. Por otro lado, la mecanización ha llegado para quedarse, no solamente por el incremento de productividad que permite una mejor garantía de suministro, sino también por la reducción de la elevada accidentalidad de los trabajos no mecanizados (Albizu *et al.*, 2013).

Es de destacar, en cuanto a la distribución de máquinas entre marcas y fabricantes, la relevancia de marcas extranjeras como John Deere en *skidders* y cosechadoras de ruedas, Komatsu y Ponsse en cosechadoras de ruedas y sobre todo la creciente importancia de fabricantes españoles (Guerra, Dingo, Monra, Toimil o Forcar) en autocargadores, fabricación y adaptación de cabezales cosechadores y taladores, adaptación de tractores con remolque y grúa y fabricación de empacadoras.

Pero más relevante que la mera descripción del fenómeno de la mecanización de los aprovechamientos es el análisis de sus consecuencias sobre la gestión forestal, en la que nada volverá a ser igual: la mecanización obliga a cambiar muchos parámetros de las intervenciones selectivas en los montes, como el peso, la selectividad, la distribución espacial y la frecuencia de las cortas. Se puede decir que la mecanización cambia las reglas de juego en gestión forestal, y los condicionantes que implica aún no se han recogido suficientemente por la ciencia forestal española.

4. Oportunidades para el aprovechamiento forestal en el siglo XXI

4.1. El mercado y la demanda

En las últimas décadas, la madera y los productos derivados han experimentado un aumento significativo en su demanda, que se estima en un 1.1% anual en los últimos 20 años. Este crecimiento se corresponde con incrementos de la producción mundial, concentrados en los sectores de tableros de madera, pasta y papel (Picos, 2019).

Los principales motores de la futura subida de la demanda de madera serán el crecimiento del PIB mundial, puesto que hay una relación directa entre el PIB y el consumo de madera (*Figura 6*), el crecimiento de la urbanización y de la construcción que implica —la población urbana alcanzará, según las proyecciones de la ONU, un 68% de la población mundial en 2050— y las políticas de descarbonización.

Según algunas proyecciones (Gresham House, 2020), el ritmo del crecimiento

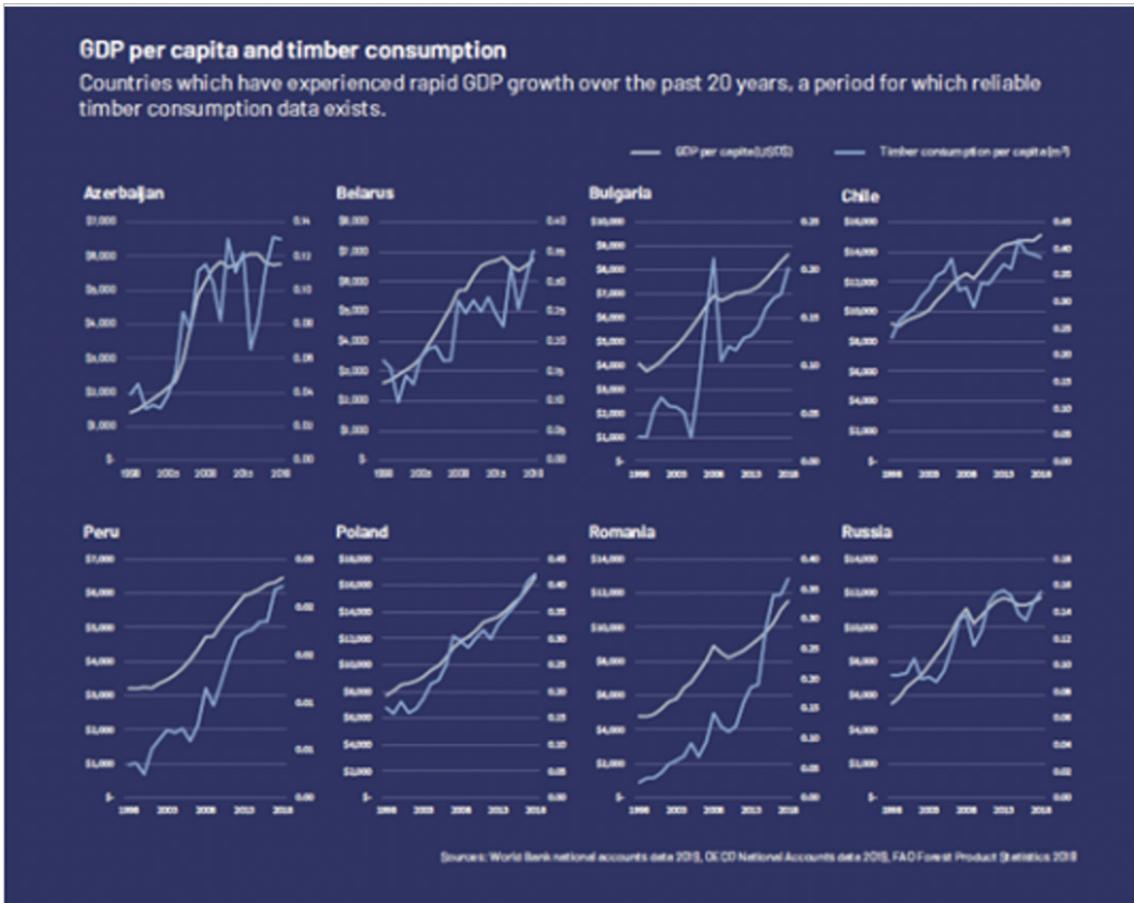


Figura 6. Relación entre consumo de madera y PIB en países en crecimiento.

Fuente: Banco Mundial, OECD, FAO 2018

de la demanda será del 3.0% anual hasta 2050, lo que supondrá tensiones de mercado con subidas de precios y ajustes de la oferta, a través del incremento de superficie de plantaciones, de la producción en especie por mejora selvícola y genética, y de eficiencia en los aprovechamientos.

En España, con condicionantes locales como la entrada en producción de muchas plantaciones del s. XX, se ha experimentado un incremento muy fuerte de la producción y el consumo (*Figura 7*), acompañado de fuertes subidas en los precios de la madera en pie, especialmente desde 2011. Según Maderea (2022), el precio medio unitario de adjudicación de la madera en pie ha sido de 41,76 €/m³ en el primer trimestre de 2022 y la especie más adjudicada el pino silvestre.

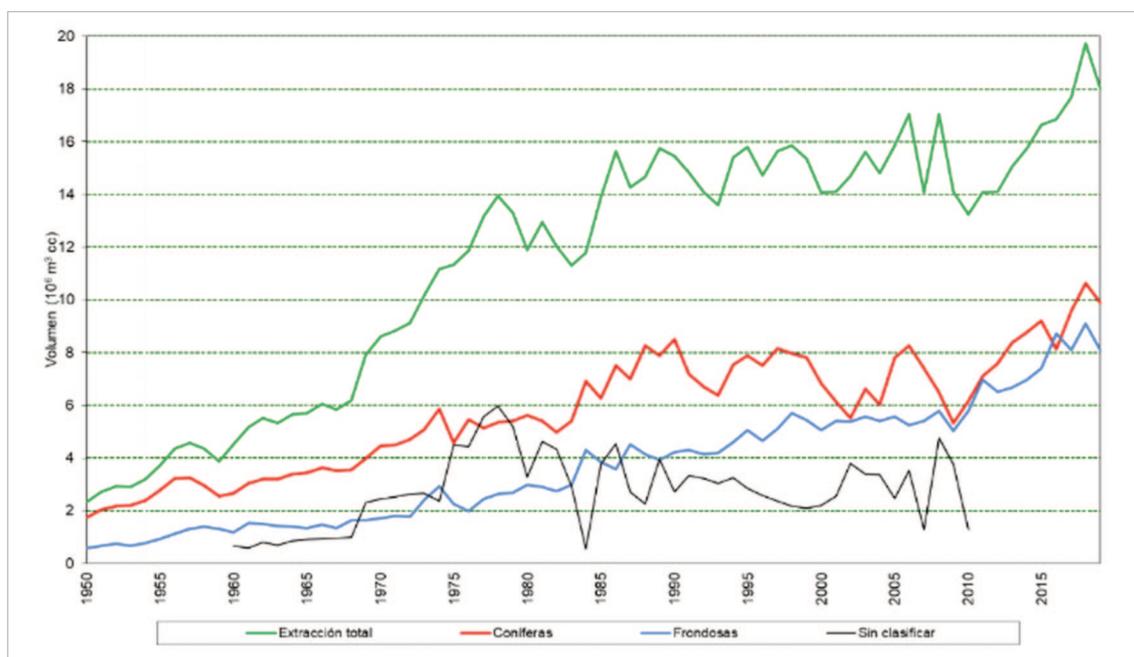


Figura 7. Evolución de las cortas de madera, totales y por grupos especiales, entre 1950 y 2019..

Fuente: MITECO y F. Pinillos, 2021.

4.2. *La bioeconomía y las nuevas biotecnologías*

Se está produciendo una transición hacia biocombustibles de nueva generación y biomateriales, en sustitución de biocombustibles fósiles, materiales de construcción tradicionales y plásticos. Los recursos forestales deben tener un papel muy significativo, como revelan las perspectivas de desarrollo de la construcción con madera o de las llamadas biorrefinerías.

4.3. *La necesidad de gestión para la adaptación de las masas forestales al cambio climático y la mitigación de riesgos*

No se debe olvidar que el aprovechamiento es la herramienta y el motor económico para la gestión forestal. Ante las nuevas amenazas (incendios de proporciones históricamente desconocidas, enfermedades y plagas con afecciones muy graves o temporales que generan extensos derribos por viento y/o nieve), la mejora de los aprovechamientos es un reto para el aumento de resiliencia de nuestros bosques, y por ende su adaptación y conservación para las generaciones presentes y futuras.

5. Retos para el aprovechamiento forestal en el s. XXI

5.1. *Incomprensión y mala imagen en la opinión pública urbana*

En este fenómeno convergen varias causas: por un lado, el creciente desplazamiento de la población a las ciudades ha conllevado su alejamiento del mundo rural, que sentimentalmente causa una añoranza de un supuesto paraíso perdido. Además, ese alejamiento ha producido una visión poco realista de las dinámicas naturales, una idea equivocada de que los paisajes rurales son “naturales”, no han sido modelados por el ser humano, y de que “lo que no se toca, no cambia”. Y finalmente, ha habido por parte del mundo conservacionista una criminalización de las “talas” como causa de deforestación que, a pesar de ser falsa en la actualidad —la principal causa de deforestación en el mundo en desarrollo es la expansión agraria, seguida de otros cambios de uso del suelo que poco tienen que ver con el aprovechamiento forestal—, ha calado en la opinión de la población del mundo desarrollado, aunque muchas organizaciones ecologistas hayan cambiado su discurso al respecto (Soto, 2011).

Estas percepciones perduran en la opinión pública, especialmente urbana, porque persisten en muchos medios de comunicación, e incluso en bastantes libros de texto, en que se ha detectado la presencia de un buen número de estos falsos tópicos sobre lo forestal (Tolosana, 2019).

En un reciente meta-análisis basado en 77 estudios sobre la percepción del público sobre gestión forestal y bioeconomía en la U.E., (Ranacher *et al.*, 2020) se señala que, a pesar de que la madera y los productos forestales tienen una buena imagen y de que los europeos valoran positivamente los bosques por su contribución al clima, la biodiversidad y el recreo, su papel económico es menos reconocido y las actividades de gestión —especialmente las cortas a hecho, el uso de especies exóticas y de fertilizantes o plaguicidas— tienen una consideración negativa. Otra de las conclusiones es que el nivel de conocimiento sobre gestión e industria forestal en el público en general es muy limitado.

De hecho, en estudios previos (Rametsteiner *et al.*, 2009) se detectan importantes tópicos falsos extendidos en la opinión pública europea, como la percepción de disminución de la superficie forestal y de la biodiversidad, la minusvaloración de determinados riesgos (plagas y enfermedades, daños por fauna silvestre o derribos por viento) y la sobreestimación de otros (incendios forestales y daños debidos a la gestión y los aprovechamientos).

Es fundamental una acción conjunta intersectorial para informar y educar a la sociedad, desde la educación ambiental reglada y no reglada hasta los medios de comunicación, para incrementar el conocimiento sobre la gestión forestal y su papel en una bioeconomía sostenible. Ya hay iniciativas al respecto, desde el colectivo profesional (Juntos por los Bosques) y en el terreno de la pedagogía forestal, pero es necesario ampliar el alcance, posiblemente acudiendo a otros aliados fuera del sector (construcción, energía, textil, etc.). La certificación forestal debe jugar un papel esencial al respecto.

5.2. *La reducción de los impactos desfavorables de los aprovechamientos mecanizados*

Uno de los problemas asociados a la mecanización de los aprovechamientos son los daños a los suelos, a los árboles y otra vegetación remanente y a la regeneración. Es inevitable un cierto grado de daños, si bien estos se reducen en sistemas mecanizados con desembosque en autocargador comparados con los sistemas en que se arrastra la madera. Una de las recomendaciones comunes es un adecuado diseño de la red de calles y una selección de la maquinaria en función de las condiciones del sitio (Ampoorter *et al.*, 2012; Labelle y Lemmer, 2019; Picchio *et al.*, 2020).

Además de esas buenas prácticas, hay avances tecnológicos destinados a reducir los efectos ambientales desfavorables de los aprovechamientos, que pueden contribuir a su mala imagen entre el público en general, e incluso entre algunos propietarios forestales. Entre estos avances, cabe destacar la reducción del tamaño de algunas máquinas destinadas a intervenciones selectivas tempranas, la utilización de máquinas de neumáticos de baja presión con un número creciente de ellos, o dotadas con sistemas de geolocalización y planos de áreas sensibles a evitar (*Figuras 8-10*). También se detecta una tendencia hacia motores más eficientes en consumo y vehículos híbridos o auto-recargables (por ejemplo, en carros de cables aéreos forestales).

5.3. *El aumento de la productividad y la reducción de costes, especialmente en aprovechamientos complejos*

La reducción de costes de los aprovechamientos, junto con la óptima valorización de sus productos, son la clave para una remuneración mejor de los primeros eslabones de la cadena de los aprovechamientos (propietarios y empresas de aprovechamientos). Las innovaciones destinadas a mejorar la productividad y reducir los costes pueden permitir extender los aprovechamientos autofinanciables a terrenos de especial dificultad por sus condiciones fisiográficas o el pequeño tamaño de la vegetación a aprovechar, entre los cuales hay que destacar:

5.3.1. *Los aprovechamientos en fuertes pendientes*

La innovación más destacable, fuera de los avances en los sistemas de cables aéreos de desembosque, son los potentes cabrestantes equipados con embragues progresivos que pueden descolgar y cablear maquinaria de aprovechamiento en pendientes muy fuertes (*Figuras 11 y 12*). Este sistema tiene la ventaja adicional de que, dado que los trenes de rodaje de las máquinas no tienen que traccionar, se reducen los daños sobre el terreno (Spinelli, 2018).



Figura 8. Maquinaria de pequeño tamaño para claras tempranas.



Figura 9. Autocargador con diez neumáticos de baja presión más semiorugas para controlar daños.



Figura 10. Sistema de geolocalización y control de la producción, permite evitar áreas sensibles.

Fuente: Treemetrics.



Figura 11. Maquinaria forestal suspendida de un cable en zona de fuerte pendiente.



Figura 12. Cabrestante controlado a distancia para descolgar maquinaria en fuertes pendientes.

Los cables aéreos de desembosque (también llamados teleféricos forestales) son muy comunes en los bosques de montaña de Centroeuropa y Norteamérica. En España ha habido un déficit histórico de estos medios de extracción desde tiempos de la concesión de Cazorla a Renfe. Se considera un sistema claramente aplicable en zonas de montaña, si bien requiere bastante personal muy especializado, por lo que el valor de la madera extraída debe ser alto para conseguir la autofinanciación.

5.3.2. Los aprovechamientos en masas de árboles pequeños.

Las primeras claras o clareos siempre han sido problemáticas desde el punto de vista de su autofinanciación, dado el escaso valor de sus productos. Por debajo de ciertas dimensiones, su destino es bioenergético, y su valor se reduce. Por ello, se han realizado grandes esfuerzos de desarrollo, aún en curso, para mejorar la productividad en este tipo de aprovechamientos.

Cabe mencionar tecnologías como los cabezales taladores con capacidad acumuladora, que se han combinado con empacadoras de árboles completos, y cuyo desarrollo futuro pasa por métodos de trabajo semisistemáticos (el llamado boom corredor) y cierta capacidad compresora en los mismos cabezales. Bergström, 2009 - (*Figuras 13 a 15*).



Figura 13. Maquinaria multitaladora-empacadora Fixteri.



Figura 14. Método de clara semisistemática “boom corridor”-
Fuente: De la Cruz, 2020



Figura 15. Prototipo de cabezal multitalador compresor Bracke.
Fuente: Bregström, 2019

5.3.3. *El aprovechamiento de matorral*

En países como España, con más de 8 millones de ha de matorrales, se ha investigado la mecanización de los desbroces con recogida del matorral desbrozado, ya sea triturado o comprimido en forma de balas. Esta mecanización puede financiar parcialmente los tratamientos preventivos de incendios, y aplicarse también a claros sistemáticos de regenerados jóvenes, por ejemplo en regenerados de pinares mediterráneos después de incendios.



Figura 16. Desbrozadora — trituradora — recolectora de biomasa RetraBio.



Figura 17. Desbrozadora — empacadora de biomasa BioBaler.

Se han ensayado recientemente dos tecnologías, el prototipo de desbrozadora-trituradora y recolectora de fabricación española RetraBio y la desbrozadora empacadora canadiense BioBaler – Esteban *et al.*, 2017; Tolosana *et al.*, 2021 - (*Figuras 16 y 17*). Aunque si el material se utiliza para uso energético, este aprovechamiento no resulta autofinanciable, en determinados casos se iguala o incluso se reduce el coste de tratamientos preventivos con medios alternativos, como desbrozadoras convencionales de cadenas o martillos. Además, se está investigando su aprovechamiento en ciertas especies para el desarrollo de bioproductos.

5.4. Falta de operarios cualificados para el aprovechamiento forestal mecanizado

Es un reto que no solo debería involucrar al sector forestal español, pero que ante la inacción de las autoridades competentes en el Estado y numerosas comunidades autónomas, ha provocado algunas iniciativas de industrias o empresas forestales, que han generado programas de formación privados o, como en el caso de Galicia, que desde la Comunidad Autónoma se haya promovido la compra de ocho simuladores para aprendizaje del manejo de maquinaria forestal en centros de los ciclos formativos de formación profesional agraria. A pesar de ello, el problema (común con otros países forestalmente más avanzados) es grave y no tiene visos de tener una fácil solución en el futuro a medio plazo

5.5. *Necesidad de incorporar la planificación y optimización de los aprovechamientos a la ingeniería y la ciencia forestales en España*

Hay una gran falta de tradición en la ingeniería forestal española en materia de ingeniería de procesos aplicada a las operaciones forestales. La tarea de los selvicultores y gestores forestales se ha terminado tradicionalmente en el señalamiento y, en su caso, el control de los ejecutores de los aprovechamientos, normalmente microempresas con experiencia y conocimientos, pero sin un grado de tecnificación y gestión empresarial como el que los tiempos actuales exigen.

En la actualidad, hay más ingenieros forestales españoles trabajando en ingeniería de las operaciones forestales en el mundo académico y de la investigación fuera de España que en nuestro país. Las posibilidades que brindan las nuevas tecnologías exigen una mayor calidad de la formación en el ámbito de la ingeniería y una mayor apuesta en el ámbito científico, posiblemente contando con equipos multidisciplinares.

Como ejemplos de las oportunidades que genera el desarrollo tecnológico en este terreno, mencionaré algunas tendencias y desarrollos de aplicación a los aprovechamientos y otras operaciones forestales que son ya una realidad o están siendo desarrollados en los países más avanzados.

5.5.1. *Ingeniería de procesos y Gestión de la calidad total (TQM).*

Una correcta gestión de las operaciones forestales mecanizadas requiere tener un conocimiento a tiempo real de la disponibilidad de las máquinas (sus tiempos perdidos y sus causas) y de su productividad en las condiciones de trabajo en comparación con un estándar. El análisis de esos datos, para los que ya existen aplicaciones de móvil desarrolladas por la industria en nuestro país (*Figura 18*), permite detectar problemas de mantenimiento o ejecución inadecuados, formar al personal de empresas contratistas y generar estándares de funcionamiento para las máquinas y sistemas de trabajo frecuentes (López Sánchez, 2018).

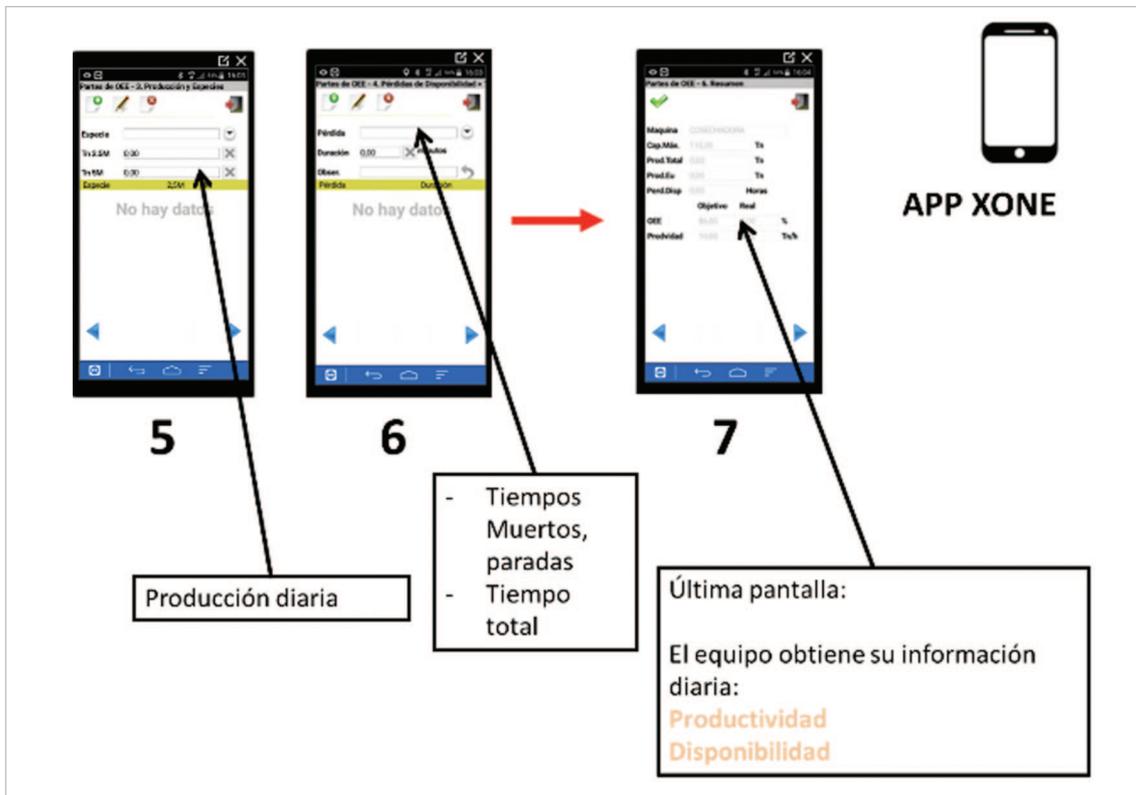


Figura 18. Ejemplo de aplicación para análisis de productividad y disponibilidad de maquinaria y aplicación de TQM.

Fuente: López Sánchez, 2018

5.5.2. Planificación en base SIG y con sistemas de toma de decisiones. Sensorización, mediciones avanzadas y conectividad.

La aplicación a las máquinas de sensores GPS de alta precisión (incluso a través de satélite donde no hay cobertura de red) junto con la sensorización de sus órganos de trabajo y la transmisión de estos datos en tiempo real permite planificar y controlar la actividad, especialmente si se cuenta con datos fiables de inventario y condiciones del terreno (incluyendo posibles restricciones ambientales o de otro tipo) en base SIG.

Estos sistemas se suelen combinar con los de medición de la producción en la propia máquina (que también utilizan *software*, por ejemplo, para maximizar el valor en el tronzado, teniendo en cuenta la demanda), como se muestra en los ejemplos de las Figuras 19 y 20.

Además, la planificación y el control se puede extender a toda la cadena logística a través de herramientas de optimización del transporte, y utilizando para asegurar la transparencia y la trazabilidad tecnologías como Blockchain.

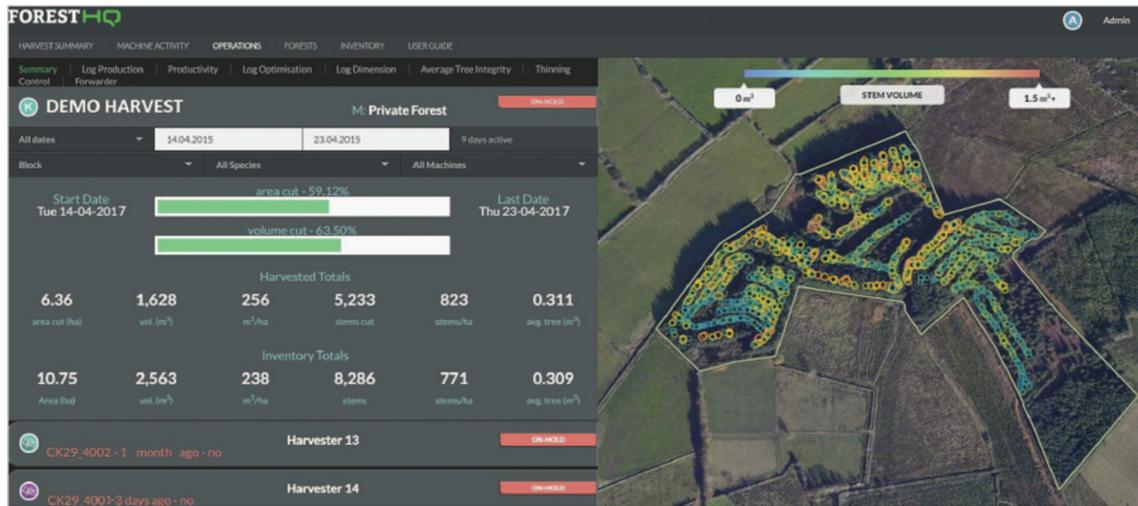


Figura 19. Sistema de geolocalización precisa y control de la producción a tiempo real en una cosechadora forestal.

Fuente: Treemetrics, 2018

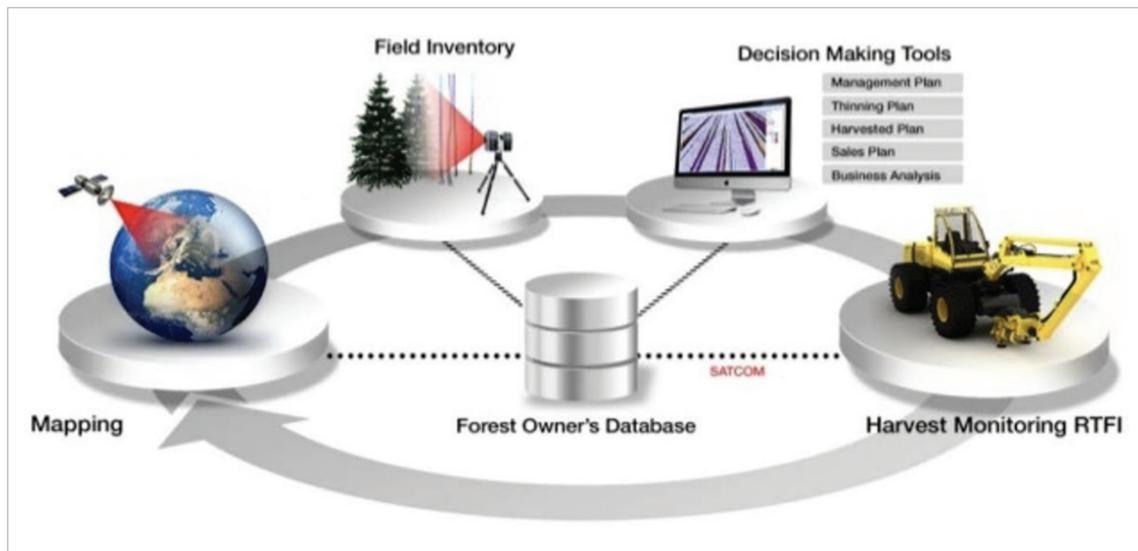


Figura 20. Ejemplo de planificación y control integrados de la ejecución del aprovechamiento.

Fuente: Acuña, 2018

5.5.3. Automatización y robotización

Es uno de los campos más relevantes de I+D, motivado por razones económicas y de eficiencia, pero también por la escasez de personal, incluso en los países en que los trabajos forestales mecanizados tienen una mejor retribución y consideración social. Como terrenos ya objeto de desarrollo se pueden mencionar las máquinas combinadas (harwarders, combinación de cosechadora y autocargador), las máquinas sin cabina, que se controlan a distancia (por ejemplo, un solo operario controla a dis-

tancia la cosechadora y conduce por si mismo el autocargador cuando su remolque está lleno) o los prototipos con dos grúas, en que el maquinista aproxima una de las grúas a un árbol y la máquina hace automáticamente las funciones de apeo y procesamiento mientras el maquinista conduce la segunda grúa a otro árbol (Fig. 21 y 22).

Hay incluso innovaciones más a largo plazo, como las máquinas cosechadoras automáticas basadas en visión artificial y algoritmos de toma de decisión, o los camiones autónomos, sin conductor.



Figura 21. Prototipo de máquina con dos grúas y una unidad compresora, basada en la automatización parcial.



Figura 22. Prototipo de cosechadora forestal controlada a distancia.

5.5.4. Big data, Internet de las cosas, aprendizaje por las máquinas y comunicación máquina a máquina: las operaciones forestales 4.0.

Las mencionadas innovaciones, combinadas con el manejo de ingentes cantidades de datos, el aprendizaje por las máquinas y la comunicación entre ellas, configuran un escenario no tan lejano, que podríamos denominar la incorporación de las operaciones forestales mecanizadas a la cuarta revolución industrial, a lo que se ha dado en llamar Industria 4.0 – Acuña, 2018; Picchi *et al.*, 2022 - (Figura 23).



Figura 23. La gestión forestal 4.0

Fuente: FP Innovations, en Spinelli, 2018.

6. Conclusiones

El ser humano se caracteriza como especie por su gran capacidad de cambiar su entorno a través del uso de herramientas, y ha utilizado los recursos forestales con fines y tecnologías diversas y complejas desde el albur de la civilización.

El crecimiento demográfico y la intensificación del uso de la madera y leña como fuentes de energía y materias primas fundamentales dieron lugar a su sobreexplotación y agotamiento locales. En Centroeuropa, la conciencia de esa realidad dio origen al nacimiento del concepto de sostenibilidad junto con la ciencia forestal.

Los medios de aprovechamiento de la madera y otros recursos forestales han evolucionado en los últimos siglos hacia una creciente mecanización, las máquinas de apeo y procesado de la madera están desplazando a los medios semimecanizados (motoserristas y apiladores) con un notable incremento de la productividad hasta tiempos muy recientes.

Este hecho, que es muy positivo en cuanto a la dureza y elevada siniestralidad de los trabajos forestales y en cuanto a la economía operacional, obliga a cambiar ciertos paradigmas de la ciencia forestal tradicional, en tanto condiciona el peso, la distribución espacial, el carácter selectivo e incluso la frecuencia de las cortas parciales.

En España, la mecanización forestal ha crecido drásticamente durante lo que llevamos de siglo, y el parque de maquinaria incluye más de mil máquinas de apeo y/o

procesado (taladoras y procesadoras) y más de dos mil máquinas de desembosque. De ellas, las cosechadoras (o procesadoras) forestales y los autocargadores son las que han tenido un crecimiento mayor, frente a los tractores agrícolas y los arrastradores o *skidders*, que han sufrido retrocesos moderados en su número. Además, es de destacar la actividad de casi un centenar de empacadoras de biomasa.

Las principales oportunidades que se ofrecen al desarrollo de los aprovechamientos y su tecnología se relacionan con la demanda creciente de madera, la bioeconomía y la sustitución de combustibles fósiles y plásticos y otros materiales por biocombustibles y otros bioproductos, el desarrollo de tecnologías para la valorización de estos biomateriales y la necesidad de intensificar la gestión de los bosques para aumentar su resiliencia ante el cambio climático y los crecientes riesgos asociados (incendios, enfermedades, plagas o derribos por viento).

Sin embargo, se presentan grandes retos en este siglo XXI: tal vez el más importante sea la mala imagen que los aprovechamientos tienen en la opinión pública urbana, que a su vez condiciona a los decisores políticos. Pero son relevantes también la necesidad de reducir los impactos desfavorables de la actividad mecanizada, la escasez de personal cualificado para estos trabajos y la necesidad de implementar cambios tecnológicos para aumentar la productividad y reducir los costes, especialmente en los casos más complejos (montes con fuertes pendientes, masas de árboles pequeños y matorrales).

Es muy necesario también intensificar el peso de la tecnología y organización de las operaciones forestales en la formación de los ingenieros forestales, además de fomentar su participación en equipos multidisciplinares, dado que hay grandes oportunidades de mejora tecnológica. El objetivo a medio plazo será implementar una gestión forestal 4.0, que integre los avances de la llamada cuarta revolución industrial: ingeniería de procesos, sensorización, ciencia de datos, sistemas de toma de decisión, automatización, robótica, etc., que suponen un desafío para un sector de la ingeniería que ha sido tradicionalmente poco intensivo en innovación tecnológica.

7. Bibliografía

- Acuna, M.; 2018: Frontiers in wood and biomass supply chain optimisation. *Keynote Contribution. In FORMEC 2018 Proceedings. Ed. FUCOVASA*. Páginas 3-5.
- Albizu, P.M.; Tolosana, E.; Román-Jordán, E.; 2013. Safety and health in forest harvesting operations. Diagnosis and preventive actions. A review. *Forest Systems* 22(3): 392-400. <https://doi.org/10.5424/fs/2013223-02714>
- Ampoorter, E.; De Schrijver, A.; Van Nevel, L.; Hermy, M.; Verheyen, K.; 2012. Impact of mechanized harvesting on compaction of sandy and clayey forest soils: results of a meta-analysis. *Annals of Forest Science* 69:533–542. <https://doi.org/10.1007/s13595-012-0199-y>
- Arendt, H.; 1958. The human condition. *University of Chicago Press*. 380 páginas.
- Bauer, E.; 1980. Los montes de España en la Historia. *Ministerio de Agricultura, Servicio de Publicaciones Agrarias*, 632 páginas.
- Bergström, D.; 2009. Techniques and systems for boom-corridor thinning in young dense forests.

- Diss. (sammanfattning/summary) Umeå: Sveriges lantbruksuniv., *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, 1652-6880; 2009:87. ISBN 978-91-576-7334-0 [Doctoral thesis]
- Brown, M.; Ghaffariyan, M.R.; Berry, M.; Acuña, M.; Strandgard, M.; Mitchell, R.; 2020. The progression of forest operations technology and innovation. *Australian Forestry* 83(1): 1-3. <https://doi.org/10.1080/00049158.2020.1723044>
- De Lumley, H.; 1969. A Paleolithic Camp at Nice: Construction work on the French Riviera has uncovered the remains of man earliest-known construction work: huts put up by hunters who visited the shore of the Mediterranean some 300,000 years ago. *Scientific American* 220(3): 42-50. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0569-42>
- Diamond, J.; 2011: Collapse: How Societies Choose to Fail or Survive. *Penguin Books*. 608 páginas.
- Esteban, L.S.; Bados, R.; Mediavilla, I.; 2017. Sustainable Management of Shrub Formations for Energy Purposes. *Edit: CIEMAT. Informe del Proyecto EnerBioScrub*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/340342918_Sustainable_Management_of_Shrub_Formations_for_Energy_Purposes/link/5e8a37a0a6fdcca789f7d4c4/download (Último acceso: junio de 2022).
- Goren-Inbar, N.; Alpers, N.; Kislevor, M.E.; Simchoni, O.; Melamed, Y.; Ben-Nun, A.; Werker, E.; 2004. Evidence of hominin control of fire at Gesher Benot Ya'aqov, Israel. *Science* 304 (5671): 725-727. <https://doi.org/10.1126/science.1095443>
- Gresham House (Autor: Van Romunde, R.), 2020. Global Timber Outlook 2020. 60 páginas. Disponible en: <https://greshamhouse.com/wp-content/uploads/2020/07/GHGTO2020FINAL.pdf>. Consultado en junio de 2022.
- Labelle, E.R.; Lemmer, K.J.; 2019: Selected Environmental Impacts of Forest Harvesting Operations with Varying Degree of Mechanization. *Croatian Journal of Forest Engineering* 40(2): 239-257. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2019.537>
- Levis, C. *et al.* (149 autores), 2017: Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. *Science* 355 (6328): 925-931.
- López-Sánchez, M.; 2018: ENCE - TQM: applications to forest mechanized harvesting planning and control: the ENCE Spanish case-study in *Eucalyptus* operations. *Keynote Contribution. In FORMEC 2018 Proceedings. Ed. FUCOVASA*. Páginas 46-48.
- Maderea, 2022. Información actualizada sobre precios y cantidades comercializadas en subastas públicas de madera disponible en <https://www.maderea.es/tag/subastas-de-madera/> (último acceso: junio de 2022).
- Muñoz Sastre, M.A.; Camino, J.J.; Altxu, L.; 2011: Guía práctica de la cadena de la motosierra. *ARPANA*. 48 páginas.
- Perlin, J.; 1999: Historia de los bosques. El significado de la madera en la historia de la civilización. Ed. *GAIA Proyecto 2050*. 512 páginas.
- Picchi, G.; Sandak, S.; Grigolatto, S.; Panzacchi, P.; Tognetti, R.; 2022. Smart Harvest Operations and Timber Processing for Improved Forest Management. En Tognetti, R.; Smith, M.; Panzacchi, P. (Editores): *Climate-Smart Forestry in Mountain Regions*. Springer. Páginas 317-359. Disponible en <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-80767-2>. Último acceso: junio de 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80767-2_9
- Picchio, R.; Mederski, P.S.; Tavankar, F.; 2020: How and How Much, Do Harvesting Activities Affect Forest Soil, Regeneration and Stands?. *Current Forestry Reports* 6: 115-128. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00113-8>
- Picos, J.; 2019: Perspectivas futuras del mercado de la madera de coníferas. El papel de la me-

- jora genética en la cobertura de la demanda. *Technical Report* · Septiembre de 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.10801.10087. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/339698336>. Último acceso: junio de 2022.
- Rametsteiner, E.; Eichler, L.; Berg, J.; 2009: Shaping forest communication in the European Union: Public perceptions of forests and forestry. *ECORYS*. Tender no. AGRI-2008-EVAL-10. Under the Framework Contract No. 30-CE-0101908/00-50. Final Report. 157 páginas. Disponible en https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/food-farming-fisheries/key-policies/documents/ext-study-forest-comm-finalreport_2009_en.pdf (último acceso: junio de 2022).
- Ranacher, L.; Sedmik, A.; Schwarzbauer, P.; 2020: Public perceptions of forestry and the forest-based bioeconomy in the European Union. *Knowledge to Action 03, European Forest Institute*. <https://doi.org/10.36333/k2a03> (último acceso: junio de 2022). <https://doi.org/10.36333/k2a03>
- Roda, J.-M.; Ainudin, N.; Guizol, P.; Ong C.L.; 2019: Phenomenological modelling scenario of future wood demand by 2050. *XXV IUFRO Congress. Curitiba, Brazil*. Disponible en https://agritrop.cirad.fr/594933/7/ID594933_D.pdf (Último acceso: junio de 2022).
- Roebroeks, W.; Villa, P.; 2011: On the earliest evidence for habitual use of fire in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 108(13): 5209-5214. <https://doi.org/10.1073/pnas.1018116108>
- Roebroeks, W.; MacDonald, K.; Scherjon, F.; Bakels, C.; Kindler, L.; Nikulina, A.; Pop, E.; Gaudzinski-Windheuser, S.; 2021: Landscape modification by last interglacial Neanderthals. *Science Advances* 7, eabj5567. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abj5567>
- Soto, M.A.; 2011. Optimismo en el año internacional de los bosques. Entrada en al Blog de GreenPeace España. Disponible en <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/es/Blog/optimismo-en-el-ao-internacional-de-los-bosqu/blog/32267/> (Última consulta: junio de 2022)
- Spinelli, R.; 2018: Mechanization of forest operations: new developments, trends and challenges. *Keynote Contribution. In FORMEC 2018 Proceedings. Ed. FUCOVASA*. Páginas 49-52.
- Sulzenbacher, G.; 2009 (fecha de la edición española): La momia del glaciar. Descubriendo el neolítico con el hombre de hielo. *Ed. Museo Arqueológico del Tirol del Sur, Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid e Ibersaf Editores*. 64 páginas.
- Terradas, X.; Palomo, A.; Piqué, R.; 2019. El poblado neolítico de La Draga (Banyoles, Girona). Resultados de las excavaciones recientes y nuevos retos de investigación. *Actualidad de la investigación arqueológica en España I* (2018-2019). Museo Arqueológico Nacional. Páginas 251-269.
- Thompson *et al.* (28 AUTORES), 2021: Early human impacts and ecosystem reorganization in southern-central Africa. *Science Advances* 7 eadf9776. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abf9776>
- Tolosana, E.; 2019: La educación forestal en los textos de secundaria y bachillerato: análisis de tópicos. *Rev. Montes* 135: 31-34.
- Tolosana, E.; Bados, R.; Laina, R.; Bacescu, N.M.; De La Fuente, T.; 2021: Forest Biomass Collection from Systematic Mulching on Post-Fire Pine Regeneration with BioBaler WB55: Productivity, Cost and Comparison with a Conventional Treatment. *Forests* 12(8) 979. 15 páginas. <https://doi.org/10.3390/fl2080979>
- UNECE-FAO (23 AUTORES), 2021: Forest Products Annual Market Review 2020-2021. 100 páginas. Disponible en: https://unece.org/sites/default/files/2021-11/2114516E_Inside_

[Final_web.pdf](#). último acceso: junio de 2022.

Valdes, C.M.; Gil, L.; 1998: La transformación histórica del paisaje forestal en España. Introducción al segundo Inventario Forestal Nacional. *Ed. Ministerio de Medio Ambiente*. 104 páginas.

Vallejo, I.; 2019: El infinito en un junco. *Ed. Siruela*. 452 páginas.

