



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-573

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Estado del arte en el transporte de madera en rollo y biomasa desde el monte a fábrica, una comparativa España-Australia

LAINA RELAÑO, R.¹, ACUÑA, M.² y PICOS, J.³

¹ E.T.S.I. Montes, Forestales y Medio Natural, UPM

² Australian Forest Operations Research Alliance (AFORA) – University of the Sunshine Coast, Sippy Downs, QLD, Australia

³ Universidad de Vigo

Resumen

El transporte de madera y biomasa desde el monte a los centros de transformación constituye una importante fase (hasta el 50% del coste en algunos suministros) en el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales. Tanto en España como en Australia el transporte es mayoritariamente por carretera. En algunas ocasiones se emplean el tren para una segunda fase o fase intermedia. El artículo analiza comparativamente los condicionantes legales, la tipificación de las empresas de transporte y su integración en la cadena de suministro, los condicionantes técnicos de los vehículos y aborda las novedades tecnológicas que facilitan la gestión del transporte para optimizar rutas y la gestión de stock de madera y biomasa en cargaderos.

Palabras clave

Transporte, madera, costes, legislación, España, Australia

1. Introducción

Australia y España son dos países que se sitúan correlativamente en las antípodas geográficas del planeta sin embargo tienen interesantes paralelismos en los aspectos socioeconómicos y territoriales de sus respectivos sectores forestales y su exploración puede arrojar conclusiones en cuanto a tendencias y posibles mejoras de ambos sectores, específicamente en el transporte de la madera en rollo. Abordar este aspecto es el principal objetivo de este artículo.

El área cubierta por bosques en Australia alcanza los 124,7 millones de hectáreas, lo cual representa alrededor de un 16% de la superficie del país, España pese a tener una superficie total 15 veces inferior a Australia su superficie forestal es sólo 4,5 veces la australiana. Desde la perspectiva de este artículo es destacable los 2 millones de ha australianas de plantaciones de *Eucalyptus sp.* y *Pinus radiata D. Don*, dos tipos con gran presencia en España, con 633 mil ha de eucalipto y casi 300 mil de *Pinus radiata D. Don*. Importante mención requiere en el caso español el chopo (*Populus sp.*), próximo a las 100 mil ha de plantaciones (SECF, 2010).

En cuanto al volumen total de madera en rollo producido, en Australia se alcanzó en el año 2016 (25,3 millones de m³), la gran mayoría fue producido en bosques de plantaciones (21.3 millones de m³), y un volumen muy inferior (4 millones de m³) fue producido en bosques de origen natural. La producción de madera en rollo en España es aproximadamente 14 millones de m³, distribuido al 50% entre coníferas, donde destaca el *Pinus pinaster* y el *Pinus radiata*, y el otro 50% procede de frondosas, donde domina principalmente las cortas de eucalipto (SGAPC, 2014). El desglose de las cortas australianas apunta una producción de 14,5 millones m³ para coníferas y casi 7,5 millones para frondosas, casi en su totalidad eucalipto (ABARES, 2015). En ambos países la producción de madera en rollo se va concentrando en plantaciones, y la producción de madera para trituración ha ido ganando peso frente a la madera con destino sierra.

En términos económicos, el sector forestal en Australia contribuye con un 0,5% del Producto Interior Bruto, un peso inferior a la aportación del sector en la economía española que habría alcanzaría el

1%. En Australia, alrededor de 70.500 personas están empleadas en actividades de silvicultura, aprovechamientos y manufactura, frente a los 116 mil en España (SGAPC, 2014). El sector forestal en Australia genera ingresos por la venta de productos y servicios que alcanzan los 14 mil millones € frente a los 6.635 millones de € en España.

2. Objetivos

Análisis comparativo de las cadenas de suministro, legislación, tipos de vehículos para la identificación de tendencias y posibles líneas de mejora.

3. Metodología

Para la elaboración de este artículo se han comparado las cadenas de suministro de madera en rollo y astilla, la legislación de cada estado y las configuraciones de camiones más habituales. Para ello, se ha contrastado bibliografía, legislación y el conocimiento del sector de los autores firmantes. Finalmente se hace una prognosis de aplicación de mejoras tecnológicas desarrolladas en Australia para el caso español.

4. Resultados y discusión del análisis comparativo

4.1.- Cadenas de suministro y modos de transporte dominantes

A nivel mundial, el transporte de trozas y biomasa desde el monte a los centros de consumo representa hasta la mitad de los costos operacionales en las cadenas de suministro forestal, lo cual significa millones € anuales para la industria forestal. Dado el elevado nivel de gasto en transporte, incluso pequeños mejoramiento en la eficiencia pueden significar ahorros de costes importantes (Acuña 2014). Esta importancia, no sólo económica, sino estratégica para la movilización de madera y biomasa, no ha sido suficiente para despertar el interés de los centros de investigación forestal, las universidades o la propia administración en España. Al respecto hay muy pocas publicaciones en España y ningún proyecto de investigación relevante. El propio buscador de artículos de los 7 últimos congresos forestales españoles solo identifica dos publicaciones que analicen el transporte. En Australia sin embargo desde hace algunos años, existen varias iniciativas público privadas están enfocadas a la mejora de este segmento.

La industria forestal y de productos forestales en ambos países depende en gran medida del transporte por carretera. Alrededor del 86,6% del transporte de carga de la industria en Australia se transporta por carretera, un 12,0% por tren y solo un 1,4% por vía marítima (Cameron, 2005). Cifras similares se deben dar en España, aunque no se dispone del dato para todo el transporte de madera en rollo, pero para el caso de la madera con destino celulosa, el 90,9 % es por carretera, el 6,6 % ferrocarril y 2,5 marítimo (ACIE, 2013).

El escaso peso del transporte por ferrocarril en ambos países se debe a similares causas, escasez de líneas ferroviarias, necesidad de volúmenes mayores por operación y mayor rigidez en la gestión de estas operaciones.

En contraste el transporte de productos forestales por carretera es el principal modo de transporte y especialmente para distancias de transporte medianas y cortas (<200 km). En muchas áreas de Australia, la existencia de terrenos muy planos y la facilidad de acceso a los materiales para la construcción de caminos forestales hacen que los costos de construcción sean de bajo coste (Lambert and Quill, 2006).

La mayor parte del volumen de corta tanto en Australia como en España, se destinan a madera de trituración (González, 2016). En el caso español tanto para producir papel como partículas de tablero,

en Australia el principal destino es la producción de astillas para exportación. En ambos países y para estas cortas el sistema de trabajo predominante es el de madera corta (cut to length) mecanizados, tanto la saca como el apeo.

En Australia es bastante frecuente el astillado en monte y posterior transporte de astilla, para reducir los costes de transporte. Esta opción también está presente en España, vinculada a centrales de biomasa o fábricas de pellets, pero no es la dominante en el conjunto del sector. Predomina el transporte de troza frente al de astilla.

Tabla 1. Cadena de suministro más empleadas en Australia y sus equivalentes en España




Fase operacional	Australia		España	
	Madera corta y astillado en planta	Astillado en monte	Madera corta	Astillado e monte
Apeo	Cosechadora	Cosechadora o cortadora/apiladora	Cosechadora o apeo manual	Cosechadora o cortadora-apiladora
Desembosque	Autocargador	Autocargador o tractor arrastrador	Autocargador o tractor arrastrador	Autocargador o tractor arrastrador
Cargadero	Autocargador o cargador sobre orugas	Astilladora móvil sobre camión	Grúa camión	Pala cargadora
Transporte	Camión con uno o más remolques	Camión con uno o más semirremolques cerrados	Camión con semirremolque	Camión de contenedores multilift o Camión bañera piso móvil
Descarga	Grúa radial o cargador frontal sobre neumáticos		Autodescarga	Autodescarga

En ambos países para el caso de trozas cortas de madera delgada, se requieren longitudes de troza adaptadas a la anchura y longitud máxima permitida de los remolques y semirremolques utilizados para el transporte. En el caso de astillado en el monte, se utiliza una astilladora móvil que produce astillas con una cierta especificación de tamaño. En Australia este sistema se utiliza principalmente para evitar manipular las trozas de mayor tamaño una menor cantidad de veces. El descortezado de las trozas se realiza a orilla de pista (descortezador de cadenas) antes del astillado. Es importante destacar que el pequeño tamaño del aprovechamiento en España frente a Australia motive que en este país sea rentable la existencia de máquinas cargadoras, evitando así a los camiones a llevar su propia grúa.

4.2.-Legislación del peso máximo autorizado y tipos de camiones.

La legislación australiana posibilita mayores pesos máximos autorizados (PMA) por vehículo frente a la española. Esto, tal y como reivindica la industria forestal española, impacta positivamente en el coste del transporte, reduciendo los costes de suministro. En el caso australiano y a nivel estatal, las principales regulaciones están relacionadas a las configuraciones de vehículos que pueden transitar en los diferentes tipos de caminos existentes en los Estados. Para el caso del Estado de Tasmania, la tabla 2 muestra las configuraciones de vehículos más comunes para el transporte de madera en rollo.

Tabla 2 Tipos de vehículos y PMA empleados en Tasmania, Australia

Configuración	Diseño del remolque	Peso máximo legal (toneladas)	Longitud máxima camión + semirremolque(s) (m)
Un semirremolque (Semitrailer)		45.0	19.0
Dos remolques (B-double)		57.0	21.0
Tres remolques (tri-tri B-double)		62.5	25.0

Contrasta la anterior tabla con el caso español (tabla 3), cuya longitud máxima admisible es igual a la menor de los vehículos más comúnmente empleados en Australia. Y el peso máximo autorizado en España para camiones con remolque de más de 4 ejes es de 40 t.

Tabla 3. Vehículos empleados en el transporte forestal y PMA autorizados. Fuente: Tolosana et al, 2004

TIPO DE VEHICULO		PMA / PMAC (T.)	LONGITUD (m)
CAMIÓN RÍGIDO	2 EJES	18	12
	3 EJES	25/26 (*)	12
	4 EJES	31/32 (*)	12
CAMIÓN SEMI-REMOLQUE	HASTA 4 EJES	36/38 (*)	16,5
	MAS DE 4 EJES	40	16,5
CAMIÓN CON REMOLQUE	HASTA 4 EJES	36	18,75
	MAS DE 4 EJES	40	18,75



Figura 1. Camión de monte. Rígido de 3 ejes, 6x6 con grúa propia con escasa capacidad de carga. (Cataluña)

Comparativamente, la legislación española restringe la competitividad del sector en igualdad de condiciones con otros países como Australia. Este hecho, también es diferencial con otros países de la UE que permiten con carácter general vehículos con una masa de 44 toneladas o superior en numerosos países de la UE mediante vehículos de cinco ejes (tractoras de 2 ejes y semirremolques de 3 ejes -T2S3). Portugal o Francia, países limítrofes con España, permiten mayores cargas, llegando en el caso portugués a autorizar para material leños, madera y similares hasta 60 toneladas para vehículos de 5 ejes (Olabe y Val, 2012). En otros países está permitido el transporte con vehículos T2S3 con PMA de 42 toneladas con carácter general. En España las 44 toneladas con 5 ejes solo están permitidas con tractora de 3 ejes (T3S2, T3S3) para el transporte combinado, con contenedor ISO de 40 pies, y con la limitación de 150 km, fruto de un reciente cambio normativo.

Según Campos y Martínez (2013), la posibilidad de transportar 44 t de mercancía en vehículos en configuración T2S3 es una medida que puede reducir los costes de transporte un 11,5% (€/t-km) y aumenta la productividad para cargadores y transportistas. Esta mejora es un ahorro neto por cuanto ya descuenta los mayores costes de operación del transporte a mayor carga (+2,86%). Una medida que además del impacto directo sobre las actuales cadenas de suministro podría aumentar el radio de abastecimiento de las industrias, otorgando nuevas posibilidades de aprovechamientos forestales en zonas rurales.

Los camiones con un semirremolque es una de las configuraciones de vehículos más empelada en ambos países. Estos camiones generalmente transportan trozas largas (10-12 m) de Eucaliptus sp. que en Tasmania representa el 80% del volumen transportado. En España el camión con semirremolque y mayoritariamente dotado con grúa se emplea para madera corta y delgada con destino trituración

En Australia existen otras prácticas que hacen uso de un mayor PMA autorizado. Son los camiones con semirremolque y remolque que suelen transportar trozas cortas (5-6 m) en el primero y trozas largas (10-12 m) en el segundo. En el caso de camiones con tres semirremolques, estos solo transportan trozas cortas (5-6 m) provenientes de operaciones de troza corta (cut-to-length) donde se utilizan maquinas cosechadoras/procesadoras para el apeo y procesado, y autocargadores para el desembosque. Por las características de los camiones con más de un semirremolque, estos requieren

de mejores estándares de camino que los camiones con un único semirremolque, particular en caminos de tierra en condición húmeda.

El transporte de astillas está igualmente sometido a las restricciones legislativas en cuanto a PMA. Sin embargo, los vehículos empleados son diferentes. En España los camiones semirremolques de bañeras de hasta 90 m³ con piso móvil para la autodescarga son los más empleados (Tolosana, 2009). En Australia para el transporte de astillas se emplean camiones similares pero con remolque, configurando un tren de carretera, que puede aumentar las cargas de transporte en más de un 50%. La principal limitante en el caso del transporte de astillas en aquel país, y considerando que el destino final es la exportación, está relacionada con las actividades de descarga en puerto. La mayor parte de la infraestructura está diseñada para camiones con un semirremolque, ya sea mediante sistemas de piso flotante o de volcado lateral. A partir de mediados de los años 90, se introdujeron las plataformas hidráulicas en los terminales portuarios (figura 2), lo cual revolucionó a la industria de transporte de astillas.

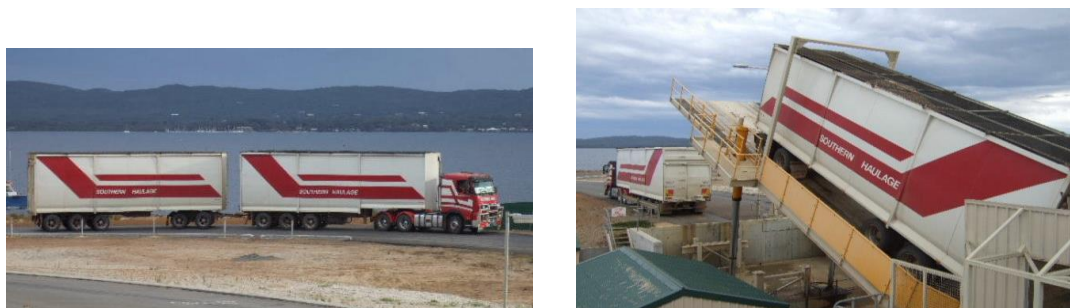


Figura 2. Camión para transporte de astilla y sistema de descarga en puerto.

El principal beneficio del transporte de astillas radica en la oportunidad de poder aumentar la capacidad de transporte, menores tiempos de carga, y el hecho de que la carga no es visible para el público en general. La carga puede realizarse con astilladoras con sistema de expulsión de astillas ubicados por sobre el camión o desde la puerta posterior del remolque. Sin embargo, la astilla tiene mayores problemas para el almacenamiento, deteriorándose la materia prima con mayor velocidad. Esto limita cadenas de suministro basadas en el astillado en monte cuando no existe una previsión de consumo a corto plazo.

Cabe destacar que algunos Estados de Australia tienen algunas de las configuraciones de vehículos más grandes y de mayor peso en el mundo, las cuales, en algunos casos, pueden exceder las 120 toneladas de carga bruta. Tal es el caso de la configuración denominada “road train” que es posible utilizar en rutas específicas en los estados de Northern Territory, Western Australia y Victoria. Esta configuración básicamente consiste de un camión con un semirremolque más dos o tres remolques. Para el transporte de madera rolliza, estos vehículos generalmente pueden transportar sobre 80 toneladas dependiendo de la configuración de ejes y el tipo de ruta. Se ha estimado que el cambio de camiones con un semirremolque a camiones con dos semirremolques, podrían reducir el tamaño de la flota en 25%, sin embargo, es necesario señalar que la adopción de configuraciones de mayor tamaño en ciertas regiones de Australia ha requerido mejorar la infraestructura, realizar cambios a la legislación, e implementar programas de educación (Lambert and Quill, 2006). Estos trenes de carretera podrían tener un papel importante en el contexto español. En la medida que existen rutas de suministro de madera relativamente consolidadas, el eje Euskadi- Burgos/Soria, el eje Euskadi-Aragón-Cataluña o el eje Galicia-Asturias-Cantabria-País Vasco, incluso ejes internacionales como Suroeste francés-Euskadi-Cantabria o Galicia- Norte de Portugal.

Las barreras que pueden oponerse al incremento de la carga por vehículo son los estándares de seguridad. Las autoridades españolas han permitido recientemente ciertos trayectos con los denominados megacamiones y se verán los resultados al respecto. Otra barrera pueden ser las autoridades locales. En algunas zonas ya existen tasas locales por el uso de caminos rurales, algo criticado por las empresas de aprovechamientos.

Otro problema referente a la seguridad del transporte, se refiere a la práctica sobre la altura del remolque o semirremolque, lo cual ha llevado a varios Estados australianos a legislar sobre esta materia, especificando la altura máxima de la carga, y el número mínimo de amarras de sujeción de la carga a ser utilizadas por cada configuración de camión. Finalmente, en el caso del transporte de trozas con corteza, un problema común es la cantidad de corteza que se desprende de las trozas durante el transporte, lo cual también ha llevado a implementar prácticas para la sujeción de la carga.

En España los camiones dedicados al transporte de madera en rollo tienen el chasis adaptado, simplificando el diseño al máximo (uso de teleros ligeros de aluminio), con plataforma de madera. Generalmente llevan grúa para la autocarga y autodescarga. El uso de esta grúa dota de autonomía al transportista, pero reduce la capacidad de carga en 2 t aproximadamente. En Australia existe mayor variación en las taras de los camiones, lo cual, en muchos casos, impacta significativamente las cargas útiles a transportar. Así, considerando actual estructura tarifaria del transporte forestal en Australia (pago por tonelada verde), el aumento de la carga útil representa una de las mayores oportunidades para reducir los costos de transporte, donde cada kilogramo de aumento en la carga neta representa entre 3,5 y 7 € de ahorro por año. El aumento de la carga neta reduce los costos y también puede reducir el uso de combustible y las emisiones de carbono de un 3% a 5% por cada tonelada de aumento en la carga útil.

En situaciones como las de España y Australia se recurre a configuraciones que maximicen el peso neto y que cumpla los requerimientos legales bajo tales restricciones. Esto se logra disminuyendo la tara de los vehículos, por ejemplo, utilizando materiales más ligeros como aluminio o la madera, para la construcción de atriles, remolques y semirremolques.

La particularidad de la superficie resbaladiza de las trozas descortezadas de Eucaliptus, ha creado en Australia la necesidad de cambiar la legislación en los códigos de prácticas forestales existente en algunos Estados como Tasmania y Western Australia. Así, se han puesto en práctica normas legales que exigen el uso de sistemas de protección ubicados en la parte posterior de los remolques y semirremolques (figura 3), los cuales deben satisfacer ciertos requerimientos de ingeniería, materiales utilizados y especificaciones de construcción.



Figura 3 Pared rejilla posterior del remolque para el transporte de trozas de Eucalipto sp.

En un estudio llevado a cabo en Australia (Brown, 2008), se investigó la variación de la tara de cuatro configuraciones de camiones: semirremolque (semitrailer), con dos semirremolques (B_double), y con semirremolque + remolque de gran tamaño (pocket-train y road-train). La tabla 4 muestra un resumen de los resultados del estudio, incluyendo costo, consumo de combustible y emisiones equivalentes de CO₂ por tonelada de madera transportada. Considerando solo el impacto de la tara, ahorros de 1,14 €

a más de 3,75 € por tonelada son posibles de obtener dependiendo de la clase de configuración. Además, también es posible ahorrar combustible y emisiones.

Tabla 4. Efecto de la tara en los costes, consumo de combustible y emisiones de GEI

Configuración	Condición tara	Tara promedio (kg)	Por tonelada transportada		
			Coste (€)	Combustible (L)	GEI (kg CO ₂)
Semirremolque - 42.5 toneladas	Tara menor	15,374	11,83	3,65	9,87
	Promedio	18,432	13,50	4,27	11,53
	Tara mayor	21,343	15,58	5,03	13,58
Dos semirremolques - 62.5 toneladas	Tara menor	20,272	8,44	2,97	8,01
	Promedio	22,651	9,00	3,20	8,64
	Tara mayor	27,907	10,56	3,85	10,41
Semirremolque + remolque de gran tamaño (pocket-train) - 79 toneladas	Tara menor	23,976	7,60	2,71	7,32
	Promedio	29,205	8,51	3,11	8,41
	Tara mayor	36,188	10,09	3,8	10,27
Semirremolque + remolque de gran tamaño (road-train) - 82.5 toneladas	Tara menor	26,830	7,40	2,83	7,63
	Promedio	29,450	7,82	3,02	8,17
	Tara mayor	33,409	8,54	3,36	9,08

En ambos países se están dando cambios para permitir la circulación de vehículos de mayor capacidad de carga. Al respecto en España desde el año 2016 existe la posibilidad de circular a vehículos con configuración EMS (European Modular System), megacamiones, con pesos de hasta 60 t, pero para distancias máximas de 150 km. Distancia que limita su práctica en el sector forestal, cuando las distancias medias por operación en el sector superan los 300 km (Picos, 2011).

En Australia, estos cambios también se han dado, para aumentar los límites ya de por sí muy superiores a España. La Comisión Nacional de Transporte por Carretera (NRTC) introdujo en año 2006, el programa de Estándares Basados en el Desempeño (PBS). Este programa vino acompañado de nueva legislación, bajo la cual se permitió el diseño y uso de configuraciones alternativas de vehículos de mayor tamaño para ser utilizados en caminos que hasta ese momento solo estaban habilitados para configuraciones de menor tonelaje, siempre y cuando estas nuevas configuraciones cumplieran con una serie de requisitos de desempeño en cuanto al impacto sobre la infraestructura, la seguridad y aceptabilidad social. Para que una nueva configuración sea aprobada debe pasar una serie de pruebas de desempeño longitudinal (a velocidad lenta y alta), desempeño direccional (a velocidad lenta y alta), y de impacto a la infraestructura.

Desde la introducción de introducción del programa se han investigado tres nuevas configuraciones con un desempeño igual o mejor en rutas que limitadas solo para camiones con un semirremolque. La figura 4 muestra una de estas configuraciones, la cual corresponde a un camión con dos semirremolques (Quad B-double) a los cuales se les ha agregado que poseen un cuarto eje direccional automático. Está diseñado para el transporte de astillas y es capaz de incrementar la carga de un camión con dos semirremolques convencionales en aproximadamente 20 toneladas (NTC, 2007).

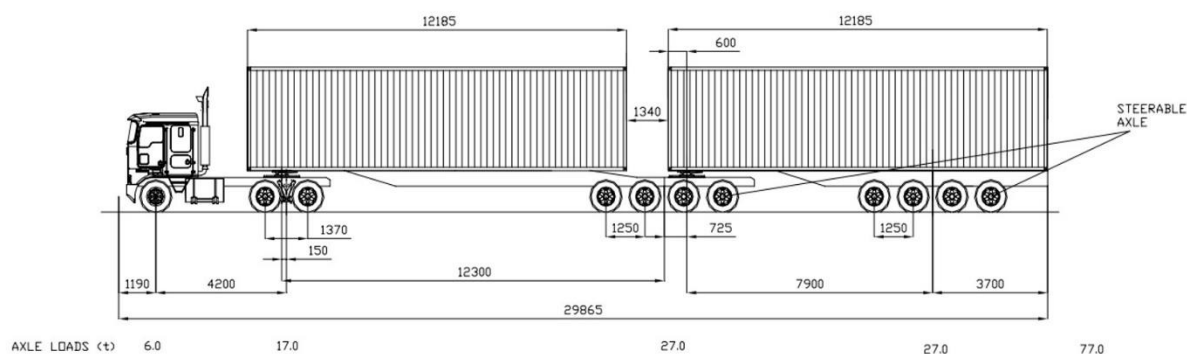


Figura 4. Configuración de un camión de alta productividad en Australia (Quad B-double)

Sin embargo, un posible cambio legislativo no evitaría el uso de camiones de monte (3 ejes, rígido y tracción total de longitud <12 m) en toda la zona norte de España. Los radios de giro, la anchura de pistas, las pendientes, obligan a su empleo. Estos camiones tienen un mayor consumo, una menor capacidad de carga pero tiene la capacidad de acceder a aprovechamientos alejados de las carreteras. Estos camiones suelen operar en una primera fase del transporte, circulando por pista y carreteras locales hasta distancias máxima de aproximadamente 30 km. A partir de esa distancia se suele cambiar de vehículo, hacer una operación de carga y descarga) para una segunda fase de transporte, en los denominados camiones de carretera, que serían camiones de 3 ejes o más, sin tracción especial, de menor consumo y mayor velocidad de desplazamiento.

4.3.-Gestión de la humedad en el transporte.

Una prometedora línea de investigación, es la mejora gestión de la humedad de la carga. En la medida que se pudiera ejecutar el transporte después de un secado natural en monte, se podría ahorrar costes. Este secado reduciría el peso manteniendo el volumen de la carga y se una consiguiente reducción de los costes de transporte (Acuna et al. 2017).

Las tarifas del transporte forestal tanto en España como en Australia dependen de la distancia, y también del peso. El pago por tonelada incentiva la rápida entrega de la madera tras la corta. Se puede afirmar que la humedad de entrega suele ser superior a la humedad necesaria para la admisión de la materia prima en el proceso productivo. Este margen permite establecer una posibilidad real de mejora en la gestión de la humedad.

En Australia en el transporte de madera verde, la mayor parte de los camiones solo ocupan entre un 60% y un 80% de la capacidad volumétrica del camión para no exceder la carga máxima legal, lo cual produce un aumento importante de los costes de transporte por metro cúbico. La figura 5 muestra el efecto del contenido de humedad (CH) sobre la capacidad volumétrica a transportar (en %) para un camión con un semirremolque transportando madera para trituración (10 m) de Eucaliptus sp. en Tasmania, Australia. Esta configuración tiene una capacidad de transporte de volumen solido de 30.5 m³, con un peso máximo legal de 45,5 toneladas (carga neta de 29,5 t asumiendo una tara de 16 t).

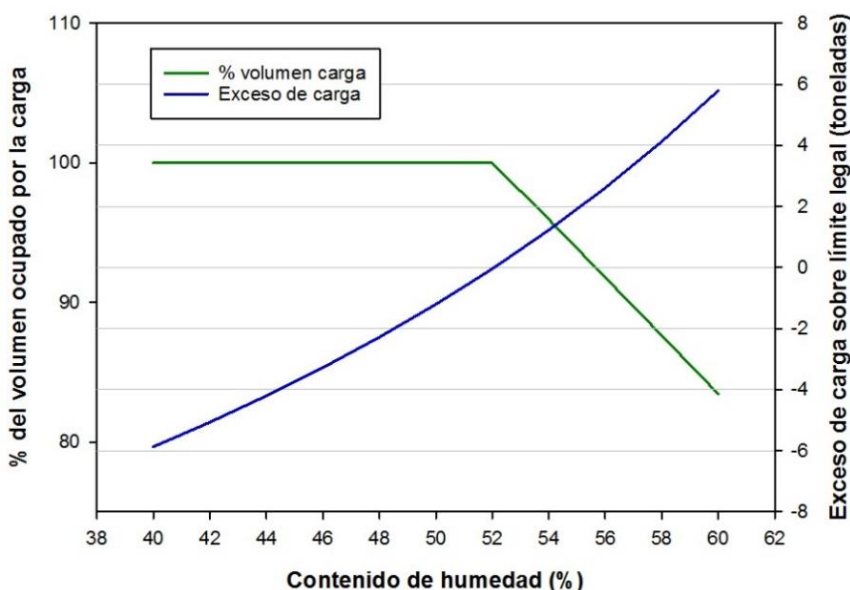


Figura 5 Punto de suministro y demanda de trozas y biomasa usada en el análisis

Inmediatamente después de la corta, las trozas tienen un CH de aproximadamente un 60%, y, por lo tanto, la capacidad de carga del camión está restringida por el peso máximo legal a transportar. Con un contenido de humedad del 60%, sólo es posible cargar el camión con aproximadamente un 82% de volumen total disponible sin exceder el peso máximo legal de 45,5 toneladas. Este 82% corresponde a 25 m³ sólidos del total disponible de 30,5 m³ sólidos. Se observa en la figura que, para poder maximizar la capacidad de volumen del camión sin exceder el peso máximo legal, es necesario reducir el CH al menos hasta un 52%. Con CH menores a 52%, la carga a transportar queda limitada por la capacidad de volumen del camión, aun cuando aquella es menor al peso máximo legal, y por lo tanto permite reducir el consumo de combustible en cada viaje.

Para el mismo ejemplo anterior, la figura 6 muestra el efecto del CH de sobre los costes de transporte por metro cubico y sobre el tamaño de la flota de camiones requerida para transportar un volumen anual de 1 millón de metros cúbicos de madera rolliza.

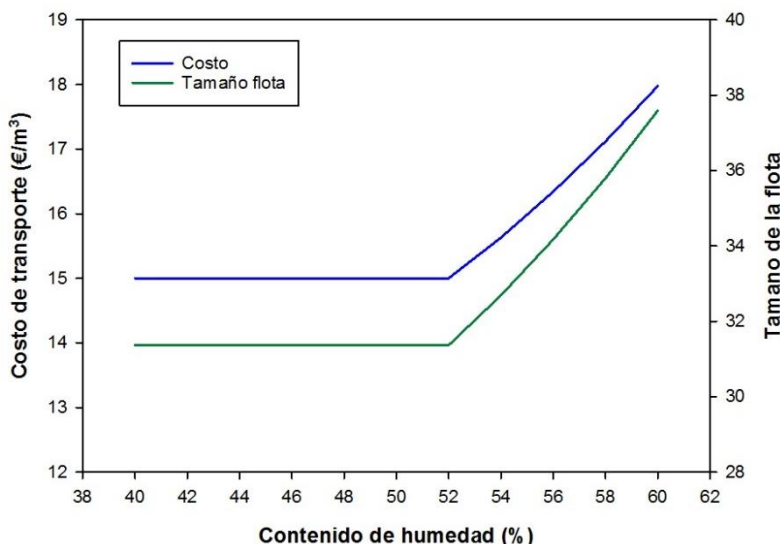


Figura 6 Efecto del contenido de humedad en los costes de transporte

En el caso del coste de transporte por metro cubico, este se minimiza (15 €/m³) cuando el CH es de un 52% o menos, ya que ese rango se maximiza la cantidad de volumen a ser transportado (30,5 m³). Con valores de CH mayores a 52%, ya no es posible maximizar el volumen del camión sin exceder el peso máximo legal. Por lo tanto, en este rango el costo de transporte se incrementa gradualmente a medida que aumenta el CH, alcanzando un valor de 18 €/m³ cuando el CH es de 60%. Para el caso de este ejemplo, el ahorro en el costo de transporte es de 3 €/m³, al reducir el CH de las trozas desde un 60% a un 52%. Esto representaría un ahorro de aproximadamente 1 millón € para un volumen de transporte anual de 300.000 m³ (volumen anual de suministro de una papelera o industria de tablero en España)

Otro efecto importante al reducir el CH se produce en el tamaño de la flota requerido para mover un determinado volumen de madera anual a las plantas. Asumiendo un volumen de 300.000 m³ a transportar anualmente, y 3 viajes diarios por camión hacia a las plantas, se requieren 31 camiones diariamente para mover este volumen de madera si es que el CH es de 52% o menos. En el caso que el CH sea mayor a un 52%, el número de camiones requeridos para mover el mismo volumen de madera aumenta gradualmente, alcanzando 38 camiones cuando el CH es de un 60%, lo cual representa un incremento del 22.6%.

No obstante, en España el problema del azulado condiciona las opciones de secado natural en monte. La industria del aserrío no sería de las más interesadas en la recepción de una materia prima más seca a un menor precio. Sin embargo, tal y como ya se ha dicho, el 75% de las cortas tienen como destino una industria de la trituración con mayor tolerancia en cuanto a la humedad. De una manera no sistemática, en las operaciones de transporte de madera de trituración cuando superan los 150 km, se suele aplicar un intervalo de secado para disminuir los costes. Sin embargo, esta práctica no está soportada por un sólido conocimiento del proceso de secado según grosor, meteorología o apilado.

Es importante señalar que nivel internacional, varias compañías forestales han identificado la problemática que representa el transporte de madera con un alto contenido de humedad. Muchas de ellas están comenzando a implementar programadas de secado de madera rolliza y biomasa en el monte, y a utilizar tecnologías de última generación como sistemas laser, cámaras estereoscópicas y programas de reconstrucción 3D, para la medición automática del volumen sólido de los camiones una vez que estos llegan a las plantas de celulosa y aserraderos. También se han comenzado a implementar sistemas de pago y acuerdos comerciales en base a las mediciones volumétricas realizadas con estas tecnologías.

En Australia, el momento de corta depende del propietario, pero el transporte de los productos desde el monte a las plantas de consumo están en manos del rematante. Esto aporta algunas eficiencias de gestión al proceso, pero produce ineficiencias para el proceso global de transporte, especialmente cuando varios tipos de productos deben ser entregados a diferentes clientes. En España, también es el rematante quien asume la gestión del transporte, pero suele coordinarse con la demanda de la fábrica para su entrega.

En ambos casos, se ejecutan las operaciones de transporte atendiendo al ritmo de producción en monte y a la demanda en fábrica fundamentalmente. Sin embargo, otros esquemas de suministro, integrados, permiten la gestión centralizada de operaciones de transporte, considerando la concatenación de operaciones en un escenario de orígenes y destinos que cambia en el tiempo. Son muchos los sectores que incluyen este tipo de planificación del transporte para la programación y despacho diario de la flota de camiones, de manera de reducir costos y mejorar la coordinación de los camiones y de los productos entregados a los destinos. La dificultad de implantación de estos sistemas radica en que las condiciones de transporte vienen determinadas por tres agentes económicos independientes, la industria, el rematante y el propio transportista.

Una práctica muy habitual del transportista forestal en España es la búsqueda de retornos para distancias superiores a los 150 km. Se busca minimizar el número de trayectos de media y larga distancia en vacíos buscando operaciones de transporte complementarias, que pueden ser o no madera en rollo. Esta práctica hace más complejo la planificación de las operaciones, pero más necesario para su óptima organización. La práctica de los retornos es menos usual en el sector forestal australiano. Otra importante diferencia entre ambos países es el tamaño de explotación. El minifundismo forestal español (Tolosana, 2015) encarece no sólo los aprovechamientos forestales, sino el transporte de la materia prima. Esta atomización multiplica la posibilidad de cargas incompletas además de dificultar la planificación del transporte y quizá explique que según los datos de la Encuesta Permanente del Transporte por Carretera (Picos, 2011) las operaciones de transporte en el sector forestal sólo alcancen de promedio un 72% de la carga máxima.

4.4.- Propuestas de mejora para la planificación del transporte fase de implementación en Australia

En Australia, aun cuando la adopción de modelos y herramientas computacionales para la planificación del transporte forestal no se ha hecho extensiva, algunas compañías están considerando la implementación de sistemas de planificación mensual y diario de manera de poder reducir los costos de transporte y satisfacer los requerimientos de sus clientes. A continuación, se presenta un resumen de dos herramientas para la planificación del transporte desarrolladas en Australia: MCPLAN y FastTRUCK (Acuna, 1007) y con un potencial de transferencia al sector forestal español.

MCPLAN es una herramienta diseñada para optimizar las cadenas de suministro de madera en rollo y biomasa (residuos). Proporciona soluciones espaciales y temporales, las cuales incluyen entre otras, volúmenes a cortar por período y áreas de suministro, tiempos de secado natural, y flujos de suministro a la industria. MCPLAN es una herramienta útil para la industria que tiene integrado el suministro, o que los acuerdos de suministro permitan la toma de decisiones sobre el proveedor. Es un modelo de programación lineal (PL) implementado con macros Visual Basic™ y resuelto con el complemento de optimización What's best™ para MS Excel™. La función objetivo del problema de PL minimiza el coste logístico total, el cual incluye los costes de aprovechamiento, secado, transporte y astillado. Además, el modelo incluye entre otras restricciones para asegurar que no se excede el volumen de madera rolliza y residuos disponibles en cada área de suministro y que se satisface la demanda mensual de las plantas de consumo por estos productos. Recientemente, MCPLAN fue utilizado recientemente en Asturias para estudiar y analizar el efecto del contenido de humedad (CH) sobre el almacenamiento, astillado y los costes de transporte entregada a fábricas y plantas energéticas bajo diferentes escenarios de CH, operativos y de secado (Acuna et al., 2017).

FastTRUCK es una herramienta de software desarrollada para asistir a los planificadores del transporte forestales a resolver el problema diario de asignación de operaciones de transporte. FastTRUCK utiliza un procedimiento estándar de Simulated Annealing (SA), el cual se ha desarrollado con el lenguaje de programación C ++, utilizando un diseño orientado a objetos (Acuna y Sessions, 2014). La herramienta se ha implementado en el marco de programación Qt para proporcionar a los usuarios una interfaz gráfica amigable (figura 7) para que puedan importar fácilmente datos de entrada de MS Excel™, revisar y modificar parámetros, mostrar soluciones numéricas y gráficas y exportar datos de salida a MS Excel™.

El uso de FastTRUCK permite a una empresa de transporte forestal, con un tamaño mínimo de aproximadamente 10 vehículos, reducir sus costes en sus operaciones diarias de transporte y su integración con herramientas de optimización como MCPLAN proveen soluciones que ayudan a identificar ineficiencias dentro del ámbito de planificación que involucra decisiones de transporte anuales, mensuales y diarias. Una vez que se completa una ejecución, FastTRUCK proporciona un informe que contiene estadísticas críticas a nivel de flota y camión. Estos incluyen, entre otros, el

tamaño óptimo de la flota, el coste total y unitario por metro cubico o tonelada, el volumen diario de los puntos de acopio de madera a los destinos industriales, la utilización promedio de los camiones y el tiempo promedio de espera. Además de las métricas de rendimiento, el modelo genera un programa de rutas para los camiones que puede ser utilizado como guía por el servicio centralizado de gestión para controlar la asignación de camiones a las tareas durante el día.

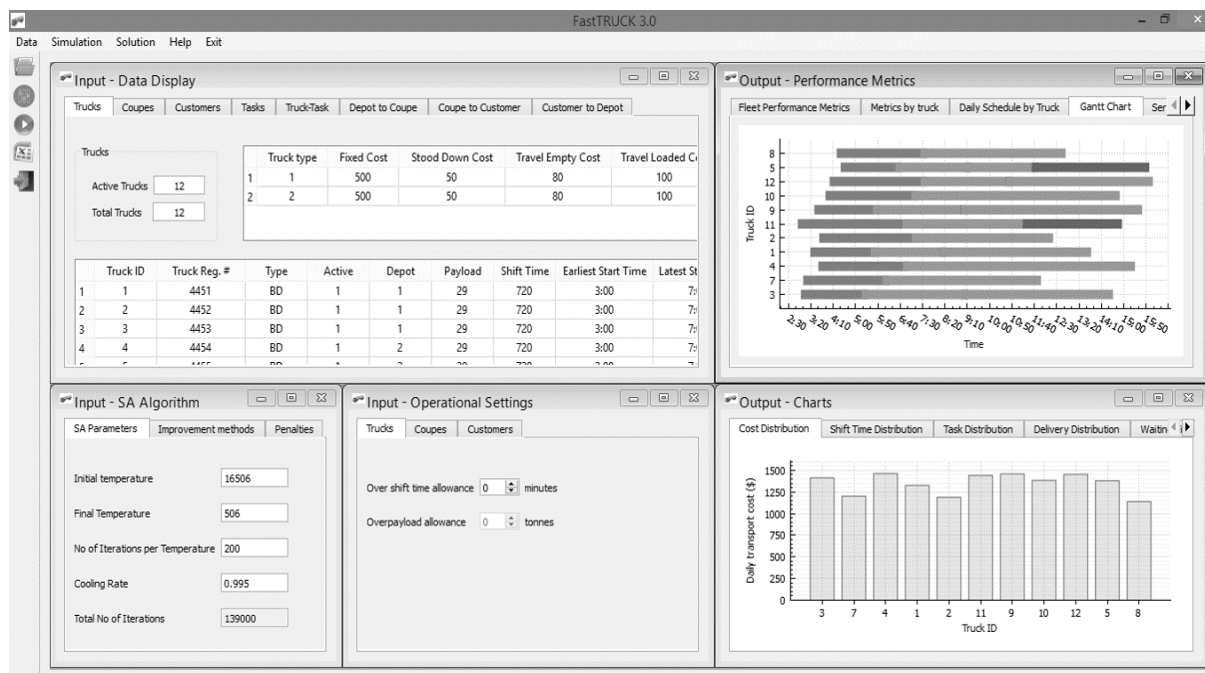


Figura 7 Interfaz gráfica de la herramienta de programación de camiones FastTRUCK

5. Conclusiones.

El transporte de madera en rollo tiene una elevada importancia en la rentabilidad global del sector forestal sin embargo no existen relevantes iniciativas de innovación en España. En Australia se están desarrollando e incorporando innovaciones que buscan una mejora en la eficiencia económica y ambiental del transporte. Los márgenes porcentuales de mejora no son amplios en términos de unidad de peso o volumen, pero considerando los volúmenes totales de materia prima que se movilizan anualmente tanto la industria como los transportistas pueden mejorar sus rentabilidades. En España, las iniciativas actuales pasan por presionar a la Administración para un cambio normativo que permita mayor carga por vehículo, pero hay posibilidades para otras iniciativas.

6. Bibliografía

ABARES Australian Bureaus of Agricultural and Resource Economics and Science; 2015. Australia's forests at a glance 2015 with data to 2013-14. Commonwealth of Australia, 105 p.

ACIE, Alianza por la competitividad de la industria Española. 2013. Estudio sobre la conveniencia y viabilidad de aumentar la MMA de los vehículos pesados a 44 t. Disponible

en: <http://www.unesid.org/docs/Informe%20incremento%20MMA%2044t.pdf>. Consultado 18/01/2017)

ACUNA, M.; SESSIONS, J.; 2014. A simulated annealing algorithm to solve the log-truck scheduling problem. In: Simulated Annealing: Strategies, Potential Uses and Advantages. NOVA Science, pp. 191-220.

ACUNA, M; CANGA, E.; SANCHEZ-GARCIA, S.; 2017. Aplicación de la herramienta de optimización logística MCPLAN para la planificación del transporte de madera rolliza y biomasa: Un caso de estudio en Asturias. En: Congreso Forestal Español, Plasencia, Cáceres, Extremadura. 26-30 Junio, 2017. 10 p.

BROWN, M.; 2008. The impact if tare weight on transportation efficiency in Australian forest operations. CRC for Forestry, Bulletin 3: December 2008. 4 p.

CAMERON, J.; 2005. Transport issues for the Australian forest and forest products industry. Report prepared for the Australian plantation products and paper industry council. 40 p.

CAMPOS, J.M.; MARTÍNEZ, A.H. 2013 Evaluación del impacto de los vehículos pesados de transporte de mercancías tipo T2S3 al pasar de 40 a 44 t de M.M.A. Barcelona, AECOC.

GONZÁLEZ, V.; 2016. Forest products market in Spain 2015: Situation and projections. Disponible en <http://blogs.upm.es/forest/2015/11/23/forest-products-market-in-spain-2015-situation-and-projections/> (Consultado el 15/01/2017)

LAMBERT, J.; QUILL, D.; 2006. Growth in the blue gum forest harvesting and haulage requirements in the Green Triangle 2007-2020. Consultant report prepared for the CRC for Forestry, 119 p.

MONTERO, G.; SERRADA, R. 2013 La situación de los bosques y el sector forestal en España. ISFE 2013 Disponible en: <http://www.secforestales.org/content/informe-la-situaci%C3%B3n-de-los-bosques-y-el-sector-forestal-en-espa%C3%B1a-isfe-2013> (Consultado el 15/01/2017)

NATIONAL TRANSPORT COMMISSION (NTC); 2007. Blueprint quad-quad B-double specifications. NTC Blueprint, Australia. www.ntc.gov.au.

OLABE, F; VAL, Y; 2012. Transporte de Madera por carretera en España. Situación actual y conclusiones. Revista Montes nº 108 pp 34-39.

PICOS, J; 2011. Análisis de los datos públicos de la Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera. Inédito.

SECF (Sociedad Española de Ciencias Forestales); 2010 La situación de los bosques y del sector forestal en España. Informe 2010. Disponible en: <http://www.secforestales.org/content/informe-isfe> (Consultado el 15/01/2016)

SGAPC, Servicio General de Análisis, Prospectiva y Coordinación (SGAPC). Diagnóstico del Sector Forestal Español” Serie Agrinfo/Medioambiente nº8. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en:
http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/AyP_serie_n%C2%BA8_diagn%C3%B3stico_sector_FORESTAL_tcm7-348019.pdf
(Consultado el 15/01/2016)

TOLOSANA, E.; 2009 Manual técnico para el aprovechamiento y elaboración de biomasa forestal. Editorial Mundi Prensa. Madrid

TOLOSANA E.; GONZÁLEZ, V.; VIGNOTE, S. 2004. Aprovechamientos forestales. Editorial Mundi Prensa. Madrid

TOLOSANA E., 2016 Más madera, para una gestión forestal sostenible. FUCOVASA. 103 pp. Disponible en
<http://blogs.upm.es/forest/2016/03/30/mas-madera-para-una-gestion-forestal-sostenible/>
(Consultado el 18/01/2016)