

# Hacia una Estrategia Nacional de Desarrollo, Uruguay 2050

Serie de divulgación - Volumen IX  
Dirección de Planificación  
Oficina de Planeamiento y Presupuesto

## Avances del proyecto bioeconomía forestal 2050



# *Hacia una estrategia nacional de desarrollo, Uruguay 2050*

*Serie de divulgación - Volumen IX  
Dirección de Planificación  
Oficina de Planeamiento y Presupuesto*

## **Avances del proyecto bioeconomía forestal 2050**



### **Dirección de Planificación**

Torre Ejecutiva Norte  
Plaza Independencia 710, 6to piso  
Montevideo, Uruguay  
Teléfono: (+598-2) 150 int. 3560  
Correo: planificacion@opp.gub.uy  
Sitio web: www.opp.gub.uy

Montevideo, noviembre de 2018.  
© Oficina de Planeamiento y Presupuesto

### **Coordinación general:**

Fernando Isabella  
Carolina Da Silva

### **Redacción:**

Gastón Mullin  
Federico Rehermann

El presente documento es un producto de la Dirección de Planificación de la Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP) que toma como insumo los reportes elaborados por VTT; Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República; y el Estudio Forestal Faroppa en el marco de los respectivos convenios entre la OPP y dichas instituciones.

Se agradece especialmente la participación y aportes del grupo de gobernanza: Pedro Soust, Patricia Escudero y Gastón Martínez (DGF/MGAP); Francisco Cassella, María Noel Cabrera, Leonardo Clavijo, Andrés Dieste y Vanesa Baño (FING/ UDELAR); Roberto Scoz (INIA); Gustavo Domínguez, Javier Doldan y Silvia Bothig (LATITUD); Cecilia Petraglia, Darío Fuletti, María Eugenia Silva y Mariela Buonomo (MGAP); Blanca Montejo, Sebastián Bianchi, Felipe Bertamini y Alicia Torres (MIEM); Cecilia Penengo, Daniel Collazo, Jorge Castro y Paola Visca (MVTOMA); Andrés Berterreche (Transforma Uruguay); y Hernán Marisquirena, Victoria de Santiago y Javier López (Uruguay XXI).

Los contenidos del documento son considerados por la OPP como insumo para el debate ciudadano, y no reflejan necesariamente la opinión de las instituciones y expertos que participaron del proceso de elaboración del presente estudio prospectivo.

La OPP, se reserva todos los derechos. El contenido de esta publicación puede reproducirse parcial o totalmente sin previa autorización, siempre y cuando se mencione la fuente y no se use para fines comerciales.

Corrección: Ariel Collazo  
Diagramación y diseño: Jorge Arévalo  
Impresión: CMIMPRESOS – Depósito legal: 373.868  
Edición amparada al decreto 218-996.

**Presidencia de la República Oriental del Uruguay**

Tabaré Vázquez  
Presidente

**Oficina de Planeamiento y Presupuesto**

Álvaro García  
Director

Santiago Soto  
Subdirector

**Dirección de Planificación**

Fernando Isabella  
Director



---

# Índice de contenido

<b>Prólogo</b> .....	7
<b>Introducción</b> .....	9
Hacia una estrategia nacional de desarrollo, Uruguay 2050 .....	9
Transformación de la matriz productiva: prospectiva en bioeconomía forestal al 2050 .....	10
<b>I. Breve diagnóstico del sector</b> .....	13
<b>II. Áreas de bioeconomía forestal</b> .....	17
ABF 1. Manejo forestal .....	19
ABF 2. Transformación mecánica de la madera .....	20
ABF 3. Celulosa y biomateriales .....	21
ABF 4. Biorrefinería .....	22
ABF 5. Bioenergía .....	23
<b>III. Estado de las ABF en el mundo</b> .....	25
1. Manejo forestal .....	25
2. Transformación mecánica de la madera .....	28
Tendencias recientes de la construcción en madera .....	30
La situación actual de la construcción con madera en Uruguay .....	31
Maderas uruguayas como material de construcción .....	32
En síntesis .....	34
3. Biomateriales basados en fibra .....	34
Pulpa de celulosa blanqueada (BEKP): producto con precio decreciente .....	34
Otros biomateriales basados en fibra .....	35
El mercado celulósico y de biomateriales basados en fibra .....	36
En síntesis .....	38
4. Productos de biorrefinería: alto potencial futuro .....	39
Nuevos productos de celulosa .....	40
Productos a base de lignina .....	40
Productos a base de hemicelulosa .....	41
En síntesis .....	43
5. Bioenergía .....	44
Energía eléctrica: sobreoferta y precio decreciente .....	44
Energía para calefacción residencial e industrial .....	44
<b>IV. Hacia la identificación de brechas y necesidades de las ABF en Uruguay</b> .....	49
1. Brechas ambientales .....	51
Certificación de bosques .....	51
Tratamiento químico de productos de madera .....	53
2. Brechas tecnológicas .....	53
Madera aserrada .....	53
Pulpa de celulosa .....	53
Manejo forestal .....	54
<b>V. Conclusiones y próximos pasos</b> .....	57
<b>Bibliografía</b> .....	59



---

# Prólogo

Desde la Oficina de Planeamiento y Presupuesto hemos apostado a desarrollar y fortalecer nuestras capacidades de mirada a largo plazo, ofreciendo al conjunto de los tomadores de decisión de la sociedad, tanto del ámbito público como privado, una serie de insumos estratégicos. En tiempos de cambios tan acelerados, resulta fundamental encender las luces largas e identificar las oportunidades de largo plazo para el país.

La transformación de la matriz productiva es entonces uno de los ejes fundamentales a abordar en el camino hacia una Estrategia Nacional de Desarrollo. Desde la OPP hemos identificado en ese sentido, una serie de complejos productivos estratégicos interrelacionados por dos núcleos de innovación: la economía digital, y la bioeconomía.

El desarrollo de la bioeconomía en la región y en nuestro país ofrece una serie de oportunidades para el uso eficiente de los recursos, en base a la convergencia entre las nuevas tecnologías y los procesos biológicos, lo que nos permiten proveer de forma sostenible ciertos bienes y servicios innovadores y de alto valor agregado. La política forestal de las últimas décadas ha promovido la creación de un sector antes inexistente en el país, y con ello oportunidades laborales, comerciales y de diversificación de la matriz productiva; pero resulta fundamental avanzar hacia un modelo de bioeconomía forestal que mejore la gestión de los recursos forestales e incremente la diversificación de la cadena, desarrollando y aplicando conocimiento específico con valor agregado.

El presente informe de avance pretende arrojar algo de luz sobre ese camino; y es por tanto un insumo para profundizar la discusión y trazar entre todos los actores, una hoja de ruta en las etapas siguientes de este proyecto.

**Álvaro García**



---

# Introducción

## *Hacia una estrategia nacional de desarrollo, Uruguay 2050*

La Dirección de Planificación de la Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP) trabaja en la construcción de la Estrategia Nacional de Desarrollo de largo plazo, Uruguay 2050. Dicho proceso es una apuesta a generar una visión consensuada del país que queremos, reflexionar sobre el Uruguay del futuro y definir las líneas estratégicas para alcanzarlo.

Un proceso de desarrollo sostenible a largo plazo, que combine crecimiento económico sustentable con justicia social, requiere adoptar una visión integrada que articule políticas macroeconómicas, productivas, sociales y ambientales. Con este enfoque, la Dirección de Planificación (DP/OPP) definió dos ejes principales —consecuencias sociales y económicas del cambio demográfico y transformación de la matriz productiva— y tres áreas transversales —desarrollo cultural, sistemas de género y desarrollo territorial— para llevar adelante estudios de carácter prospectivo que generen insumos para la elaboración de la estrategia.

En el eje de cambio demográfico y sus consecuencias sociales y económicas se elaboraron ocho escenarios demográficos para Uruguay al 2050.<sup>1</sup> Estos escenarios establecen el espacio de lo posible en relación con las tres variables que determinan el proceso de cambio demográfico que está viviendo el país: esperanza de vida, fecundidad y migración. Dichos escenarios simulan las posibles evoluciones demográficas del país, todas signadas por el proceso de envejecimiento, y ponen sobre la mesa sus implicancias para la definición de políticas públicas de largo plazo en el ámbito social, educativo y laboral. En este último se realizaron también estudios de carácter prospectivos de oferta y demanda laboral que ponen de manifiesto el desafío de aumentar la productividad a largo plazo y, vinculado con esto, de transformar la estructura productiva,<sup>23</sup>

En este sentido, en el segundo eje principal de trabajo de la Dirección se están llevando adelante estudios prospectivos en complejos productivos considerados estratégicos para la transformación de la matriz productiva: economía digital, energías renovables, turismo, industrias creativas, forestal-madera-celulosa y alimentos. En cada uno de estos complejos se están analizando aspectos productivos, tecnológicos, ambientales, geopolíticos, laborales, territoriales y socioculturales, así como otros propios de cada complejo productivo. El objetivo es identificar los escenarios en torno a complejos productivos estratégicos con potencial transformador de la estructura productiva nacional a partir del mejor aprovechamiento de los procesos de convergencia tecnológica que interconectan la economía digital con la bioeconomía.

En este marco, el 18 de agosto de 2017 la DP lanzó el estudio prospectivo *Bioeconomía forestal al 2050* con el apoyo técnico de expertos internacionales del Centro Técnico de Investigación de Finlandia VTT y expertos locales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (FING/UEDELAR), y en coordinación con el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP), el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), Uruguay XXI, el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Transforma Uruguay (TU) y el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU). Esta publicación presenta los resultados de las fases cero, uno y dos de este estudio, correspondientes a la definición de las áreas de bioeconomía forestal priorizadas y al análisis de su situación de partida en Uruguay y en países de referencia en el sector.

---

1 OPP. Escenarios demográficos Uruguay 2050. Disponible en: <https://www.opp.gub.uy/es/planificacion>

2 OPP. Prospectiva de la participación laboral Uruguay 2050. Disponible en: <https://www.opp.gub.uy/es/planificacion>

3 OPP. Demanda de trabajo en Uruguay: tendencias recientes y miradas de futuro. Disponible en: <https://www.opp.gub.uy/es/planificacion>

## Transformación de la matriz productiva: prospectiva en bioeconomía forestal al 2050

Impulsado por la creciente concientización acerca de la disponibilidad de recursos naturales finitos, el incremento poblacional mundial y la necesidad de establecer caminos sostenibles de producción y consumo, se espera un fuerte desarrollo de la bioeconomía a nivel mundial.<sup>4</sup> En este sentido, se visualiza una transición desde una economía con base petroquímica hacia una bioeconómica que supone la incorporación de nuevos bioprocesos en la producción de bienes y servicios para la generación de productos de mayor valor agregado así como para el mejor aprovechamiento de los recursos naturales. Los elementos centrales para esta transición son el uso sostenible de recursos naturales, la innovación y el desarrollo, y los beneficios ambientales y sociales. Esta transición implica, además, un cambio sistémico que afecta y es afectado por sistemas económicos, industriales y socio-ambientales, por lo que se requiere contar con investigación inter y transdisciplinaria y con modelos de negocio innovadores.

En efecto, la bioeconomía, concepto que viene recibiendo creciente atención desde comienzos de los 2000, comprende las partes de la economía que utilizan recursos renovables de distintos orígenes —cultivos, bosques, animales, micro-organismos— para producir alimentos, materiales y energía entre otros, y donde la sustentabilidad en el uso de los recursos es clave. La bioeconomía de base forestal es un importante subsector de la bioeconomía y los países con abundancia de recursos forestales, y gran capacidad científica y tecnológica, tienen buenas oportunidades para liderar este segmento.

Los estudios de futuro son vistos como necesarios para dar forma a caminos alternativos en esta transición hacia una bioeconomía de base forestal y es en este marco que en agosto de 2017 la DP inició

el estudio prospectivo *Bioeconomía forestal al 2050* con el propósito de analizar alternativas para la cadena de valor forestal-madera-celulosa. Al ser un complejo productivo clave en la Estrategia Nacional de Desarrollo, el estudio analiza el potencial de los recursos forestales a fin de elaborar una hoja de ruta para su crecimiento. Para ello, el estudio se desenvuelve en las siguientes fases:

0. Selección y definición de las áreas de bioeconomía forestal (ABF). Como punto de partida del proyecto, se trabajó en la elaboración de un diagnóstico de partida del sector para conocer la situación actual del complejo forestal-madera-celulosa uruguayo.<sup>5</sup> Paralelamente, se definieron cinco ABF relacionadas entre sí: manejo forestal; transformación mecánica de la madera; celulosa y biomateriales; biorrefinería y bioenergía. Esta definición, que constituyó el primer producto del estudio, se realizó a través de múltiples instancias de trabajo con las instituciones que conformaron la gobernanza del estudio,<sup>6</sup> así como de instancias participativas en las que se convocaron a diversas instituciones del sector público, de la academia, del sector privado y de la sociedad civil.<sup>7</sup>

1. Mapeo del estado de las ABF en el mundo. Se realizó un análisis de la situación de partida de las ABF a nivel mundial a partir de la realización de talleres técnicos con expertos finlandeses de VTT y del Instituto de Recursos Naturales de Finlandia (LUKE) así como del apoyo técnico de expertos locales de FING/UEDELAR. Se buscó identificar aspectos críticos en materia ambiental, tecnológica, política, económica y social en cada una de estas áreas, tomando en cuenta los países referentes en bioeconomía forestal (Australia, Brasil, Canadá, Chile, Finlandia, Nueva Zelanda, Sudáfrica y Suecia).

4 Cf. N. Hagemann, E. Gawel, A. Purkus, N. Pannicke y Hauck, J. (2016) Possible Futures towards a Wood-Based Bioeconomy: A Scenario Analysis for Germany. Sustainability 2016, 8, 98.

5 Informe elaborado para Uruguay XXI por Estudio Forestal Faroppa (2018).

6 Instituciones que conforman la gobernanza: MGAP —DGF y OPYPA—, MIEM—DNI, MVTOMA —DINAMA y Unidad de Cambio Climático—, Uruguay XXI, LATU e INIA.

7 A lo largo del proceso se realizaron dos talleres en Montevideo, dos talleres en Tacuarembó y uno en Río Negro con una participación total de aproximadamente ochenta actores del sector, en el anexo se incluyen los nombres de los participantes.

8 Australia, Brasil, Chile, España, Estados Unidos, Finlandia, Holanda, Nueva Zelanda, Portugal, Sudáfrica, Suecia y Uruguay.

---

2. Identificación de brechas y necesidades de las ABF en Uruguay. A partir de la identificación de aspectos críticos a nivel ambiental, tecnológico, económico, político y de infraestructura, se analizaron las brechas y necesidades del sector forestal uruguayo con respecto a los países de referencia. Para ello, se realizó una encuesta a especialistas en las distintas ABF en el mundo en la que participaron cuarenta y cinco expertos con conocimiento del sector forestal en el ámbito internacional,<sup>8</sup> así como una jornada de trabajo con referentes sectoriales nacionales en la que participaron representantes del sector público, privado y académico.

3. Desarrollo de una visión común para las ABF en Uruguay —en curso—. Con los insumos de las etapas anteriores, se trabajó en la construcción de una visión por ABF y una visión del sector hacia 2050, en conjunto con la gobernanza y diversos actores relacionados con el sector.

4. Desarrollo de una hoja de ruta para las ABF en Uruguay —en curso—. A partir de la validación de las visiones o metas por ABF, la última etapa del estudio consiste en la elaboración de hojas de ruta en las que se busca identificar líneas de oportunidad (*opportunity pathways*) y acciones críticas que llevar en ellos para alcanzarlas.

---

8 Australia, Brasil, Chile, España, Estados Unidos, Finlandia, Holanda, Nueva Zelanda, Portugal, Sudáfrica, Suecia y Uruguay.5 Informe elaborado para Uruguay XXI por Estudio Forestal Faroppa (2018).



---

# I. Breve diagnóstico del sector

El sector forestal uruguayo ha experimentado un crecimiento sostenido durante los últimos treinta años, no solo en cuanto al área plantada sino al desarrollo de la industria forestal. Tras la promulgación de la ley 15.939 en 1987 (segunda ley forestal), que implicó un mayor involucramiento y apoyo del Estado a través de una política de subsidios, deducciones impositivas y otro tipo de apoyos tanto a las plantaciones como a las áreas de bosque nativo, el área plantada pasó de 26.000 hectáreas durante el primer año en vigencia de la ley a superar el millón de hectáreas en la actualidad.

En lo que respecta al bosque nativo, si bien es complejo establecer la superficie exacta, se estima que en 2015 rondó las 783.000 hectáreas.<sup>9</sup> Se espera que en los meses siguientes a esta publicación pueda contarse con estimaciones actualizadas de este guarismo, en función del avance del proyecto REDD+, liderado en Uruguay por MGAP y MVOTMA.

La normativa vigente establece una superficie de prioridad forestal que alcanza a 3.860.000 hectáreas, y el 77 % de las plantaciones industriales se encuentra ubicado sobre estos suelos.<sup>10</sup>

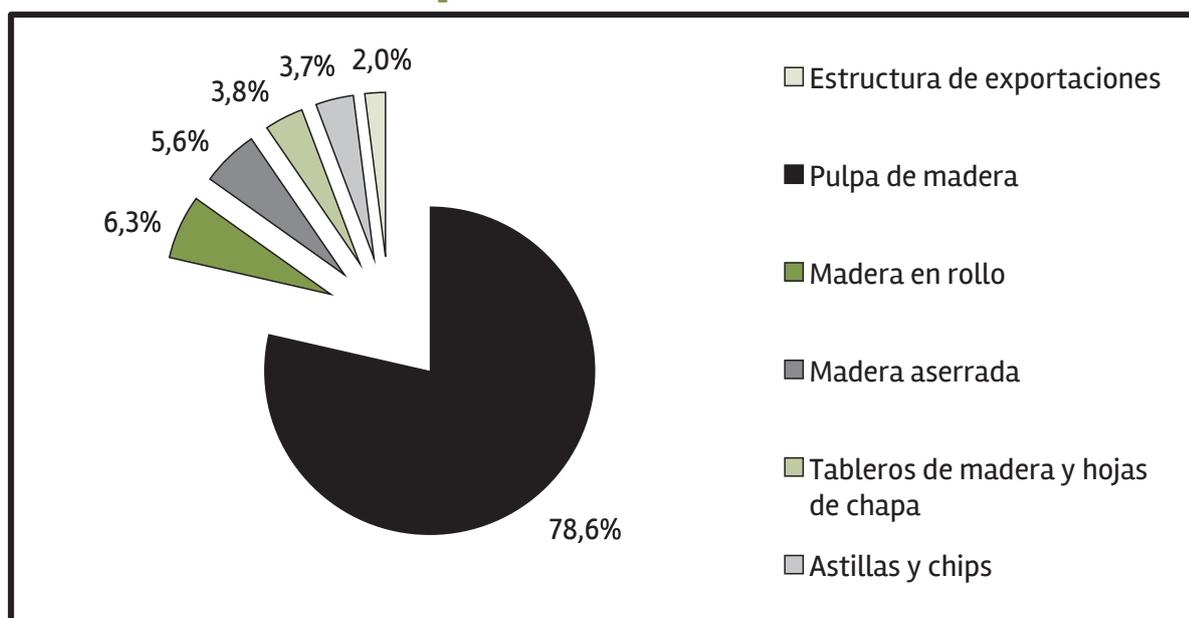
Tomando ese valor como referencia, aún hay margen para extender el área plantada.

Sin embargo, difícilmente se llegue a superar la mitad del área que contempla la ley, en vistas de la discontinuidad de los suelos en ciertas zonas del país, la topografía y las regulaciones territoriales y ambientales, entre otros.

Hoy Uruguay cuenta con dos géneros de árboles plantados: eucalipto y pino, y la superficie plantada del primero predomina sobre la del segundo, con aproximadamente el 85 % del total. La plantación de pinos ha ido disminuyendo paulatinamente hasta ser de muy poca importancia en los años recientes, de acuerdo a la información que surge de los viveros. Sin embargo, lo plantado con anterioridad asegura una disponibilidad muy importante durante los próximos quince años, con picos de volumen en el futuro cercano.

Globalmente, la cadena forestal uruguaya representa el 3,6 % del producto interno bruto.<sup>11</sup> Las exportaciones del sector alcanzaron 1.656 millones de dólares en 2017,<sup>12</sup> con lo que se colocaron en el segundo lugar —detrás del sector cárnico— y sumaron el 18 % de todos los bienes exportados por el país, con casi el 80 % correspondiente a la celulosa, principalmente con destino a China, Estados Unidos, Argentina y Turquía. Por otro lado, Uruguay importó 180 millones de dólares, mayoritariamente por concepto de papel y cartón.

## Gráfico 1. Estructura de las exportaciones en 2017



Fuente: elaboración propia basada en Boletín Estadístico - Dirección General Forestal (2018).

En cuanto al impacto laboral, en 2017 el sector contó con 17.091 empleos directos, cotizantes en el Banco de Previsión Social, tanto en forestación como en los procesos de producción industrial. Casi

la mitad correspondió a la fase silvícola y el resto a la industrial; con tres cuartos de esta empleados dentro de la rama de la transformación mecánica y el cuarto restante en la de la transformación química.

### Tabla 1. Empleos en las distintas fases del sector

	2007	2017	2017 / 2007
Silvicultura y actividades relacionadas	4.423	4.654	5 %
Extracción de madera	3.913	2.443	-38 %
Servicios de apoyo a la forestación	47	1.303	2672 %
Chipeado, aserrado y cepillado de madera	8	3.036	14 %
Fabricación de productos de madera	582	1.208	108 %
Fabricación de muebles de madera	1.513	2.200	45 %
Fabricación de papel y cartón	2.170	2.219	2 %

Fuente: Dirección General Forestal basada en información de BPS, Sistemas de Información - ATYR.

A estos empleos directos se suman alrededor de 9.000 inducidos, que corresponden a proveedores de servicios e insumos para los contratistas del sector forestal.<sup>13</sup> Por lo que, sumando el empleo directo e inducido, el total de empleos que se puede adjudicar al sector forestal es de aproximadamente 26.000.

Se trata de un empleo típicamente joven y masculinizado, ya que aproximadamente el 85 % de los trabajadores son hombres y el 60 % son menores de 39 años.<sup>14</sup>

Asimismo, tiene una impronta territorial muy importante: cuatro de cada cinco trabajadores del sector se ubican en el interior del país.

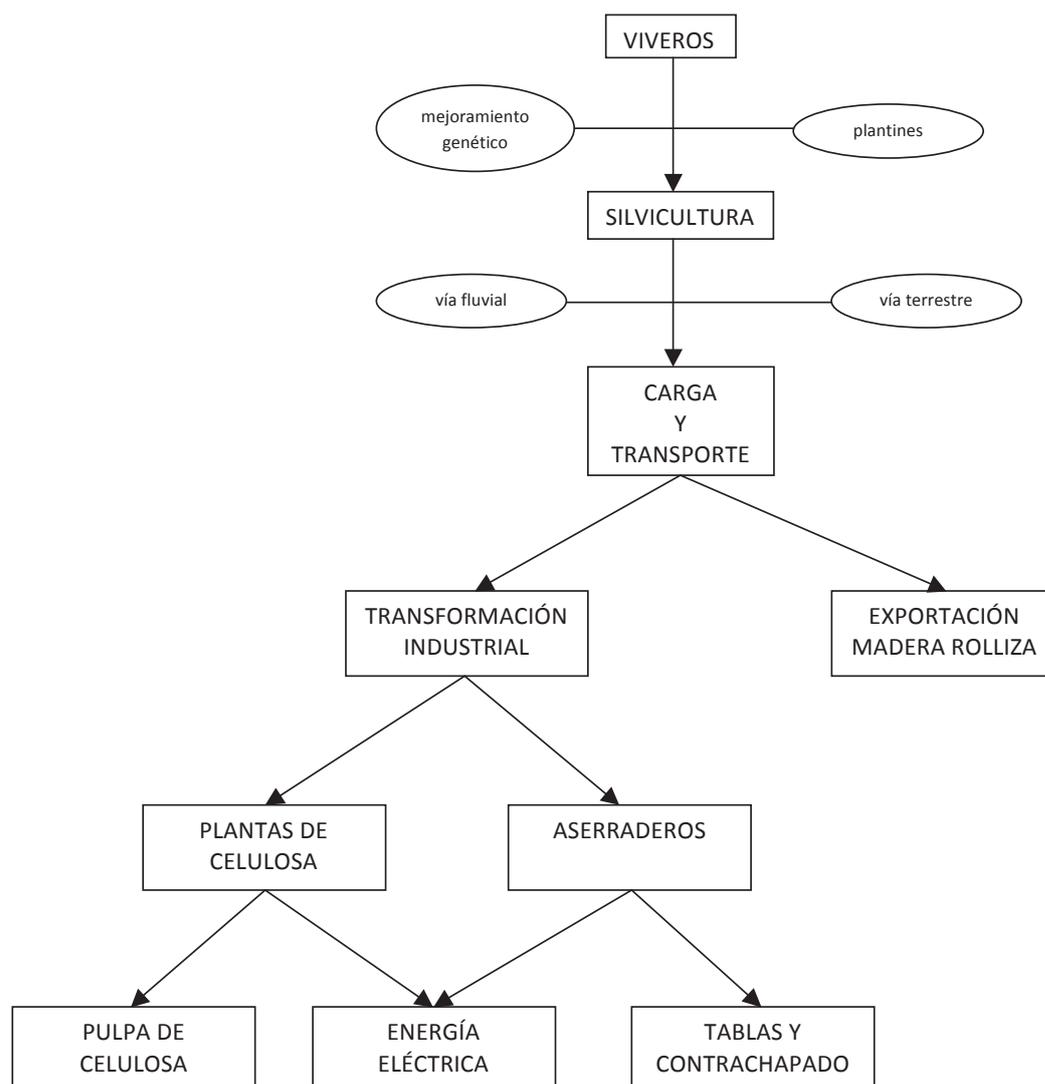
En la actualidad hay dos cadenas industriales de transformación de materia prima: la cadena celulósica y la industria del aserrío. También se exportan chips de madera y madera rolliza, que a su vez pueden ser utilizados en destino para celulosa y aserrío.

A saber, actualmente la cadena forestal nacional se puede resumir en el siguiente esquema:

<sup>13</sup> Contribución de la cadena forestal a la economía uruguaya. Informe de CPA Ferrere para la Sociedad de Productores Forestales, 2017.

<sup>14</sup> Informe Anual de Comercio Exterior. Uruguay XXI, 2017.

## Gráfico 2. Etapas de la cadena forestal



Fuente: elaboración propia basada en Uruguay XXI (2018).

En Uruguay se contabilizan en la actualidad 1.784 empresas relacionadas con el rubro forestal. Más del 90 % de ellas son micro y pequeñas empresas.<sup>15</sup> La industria de transformación mecánica o aserrijo es muy heterogénea, con empresas muy pequeñas que coexisten con aserraderos que en el ámbito local se clasifican como de gran porte, pero que en el contexto internacional serían medianos. Los cuatro más grandes consumen entre 100.000 y 500.000 metros cúbicos de madera rolliza por año.

Asimismo, el país cuenta con dos plantas de celulosa trabajando a su capacidad máxima, en 2016 consumieron casi 9.500.000 metros cúbicos de madera, que transformaron en 2.600.000 toneladas de pulpa.

Según el Boletín Estadístico 2017 de la Dirección General Forestal, el 64 % de la madera rolliza extraída

para el mercado interno tuvo destino de madera de pulpa (rolliza y chips), el 20 % fue para trozas de aserrijo y chapas y el 16 % restante para combustible. Del total de la extracción, el 86 % correspondió a madera de eucalipto y el 14 % de pino.

Estimaciones indican que, a pesar de que varía con el tipo de especie, el destino de la plantación y la distancia del árbol a la industria, aproximadamente un octavo del costo de un árbol puesto en planta corresponde a la etapa de viveros —plantines y plantación propiamente dicha—, la etapa de silvicultura responde al 36 % del costo y el transporte hasta la planta 30 % más; por lo que la parte logística tiene un componente fundamental en lo que refiere a la competitividad del sector. Esto plantea serios desafíos para la logística del transporte y distribución maderera al interior del país.

15 Contribución de la cadena forestal a la economía uruguaya. Informe de CPA Ferrere para la Sociedad de Productores Forestales, 2017.

---

El futuro próximo despierta interrogantes en cuanto a la posibilidad de disminuir el peso de la salida de los productos por carretera hacia los puertos, y a la capacidad que tenga el país de aliviar la carga sobre la vialidad a partir de la reactivación del sistema ferroviario; sobre la posibilidad de potenciar el sistema portuario fluvio-marítimo, o si es realmente viable el redireccionamiento de cargas hacia puertos diferentes al de Montevideo.

En lo que refiere a la energía, ambas industrias, tanto la de transformación mecánica como la celulósica, generan como parte de su proceso de producción energía a base de biomasa. Hacia fines de 2016 se contaba con once proyectos de generación, y totalizaban 414,6 MW instalados, gran parte de los cuales es volcado a la red. Sin embargo, en el corto plazo no se esperan nuevos proyectos de generación a través de biomasa, dado el vertiginoso ascenso de los proyectos eólicos que han aumentado la oferta energética considerablemente.

Los párrafos anteriores describen las actividades que componen el sector forestal en Uruguay hoy en día. Ahora bien, existen líneas de desarrollo forestal diferentes a las presentes en el país que pudieran tener espacio para desarrollarse conjuntamente con estas: desde nuevas líneas independientes hasta cadenas integradas que engloban distintos tipos de industrias forestales.

En síntesis, es un sector que ha venido cobrando cada vez más preponderancia, no solo en la economía sino por su impacto social, ambiental y territorial.

---

## II. Áreas de bioeconomía forestal

Siguiendo una lógica acorde a la de la bioeconomía, se identificaron las siguientes áreas de bioeconomía de base forestal (ABF) con potencial transformador de la estructura productiva. Son los componentes claves del clúster forestal, que se construye sobre la base de la industria forestal tradicional y depende del uso eficiente de su biomasa. Las cinco áreas identificadas son:

1. **Manejo forestal:** refiere a la silvicultura, tanto de bosque nativo como de plantaciones forestales con fines comerciales, así como a cuáles son las especies utilizadas para la posterior transformación en la etapa industrial y qué tecnologías se utilizan para mejorar la calidad del insumo forestal.

2. **Transformación mecánica de la madera:** destacan oportunidades inmediatas para el sector en el país, al existir la posibilidad de agregar valor a la madera mediante la

transformación en madera aserrada o productos de madera de ingeniería que tienen la posibilidad de ser utilizados en la construcción.

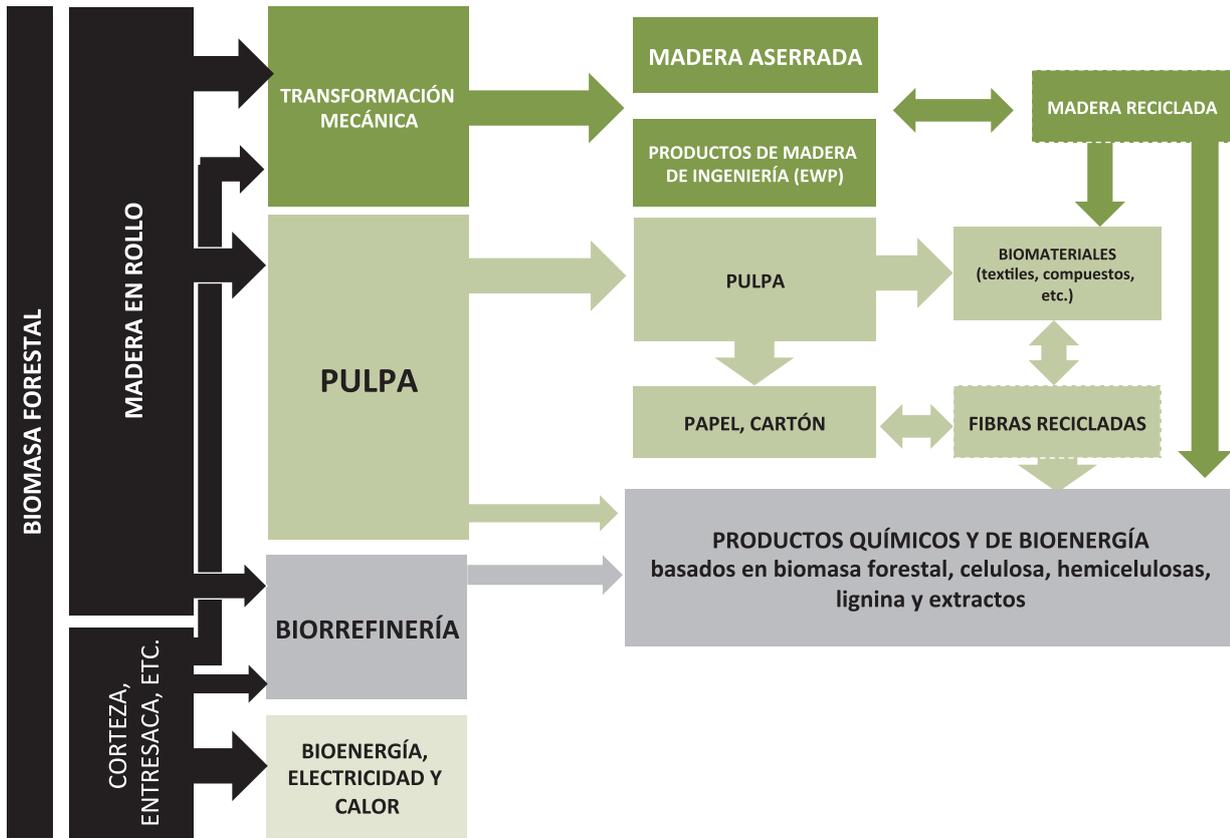
3. **Celulosa y biomateriales:** se tratan las posibilidades presentes y futuras de la celulosa, así como la oportunidad de desarrollar otros productos, como compuestos o insumos para la fabricación de textiles a partir de fibras.

4. **Biorrefinerías:** desarrollo de nuevos bioproductos, con una lógica de economía circular, a partir del procesamiento químico de la lignina, hemicelulosas y otros.

5. **Bioenergía:** generación de energía a partir de biomasa, enfocada en un uso eficiente de los residuos de la transformación industrial.

El gráfico 3 ilustra estas cinco áreas seleccionadas, según el siguiente esquema productivo:

**Gráfico 3. Flujos de biomasa, procesos y productos potenciales dentro de las cinco áreas de bioeconomía de base forestal (ABF) tomadas para el proyecto**



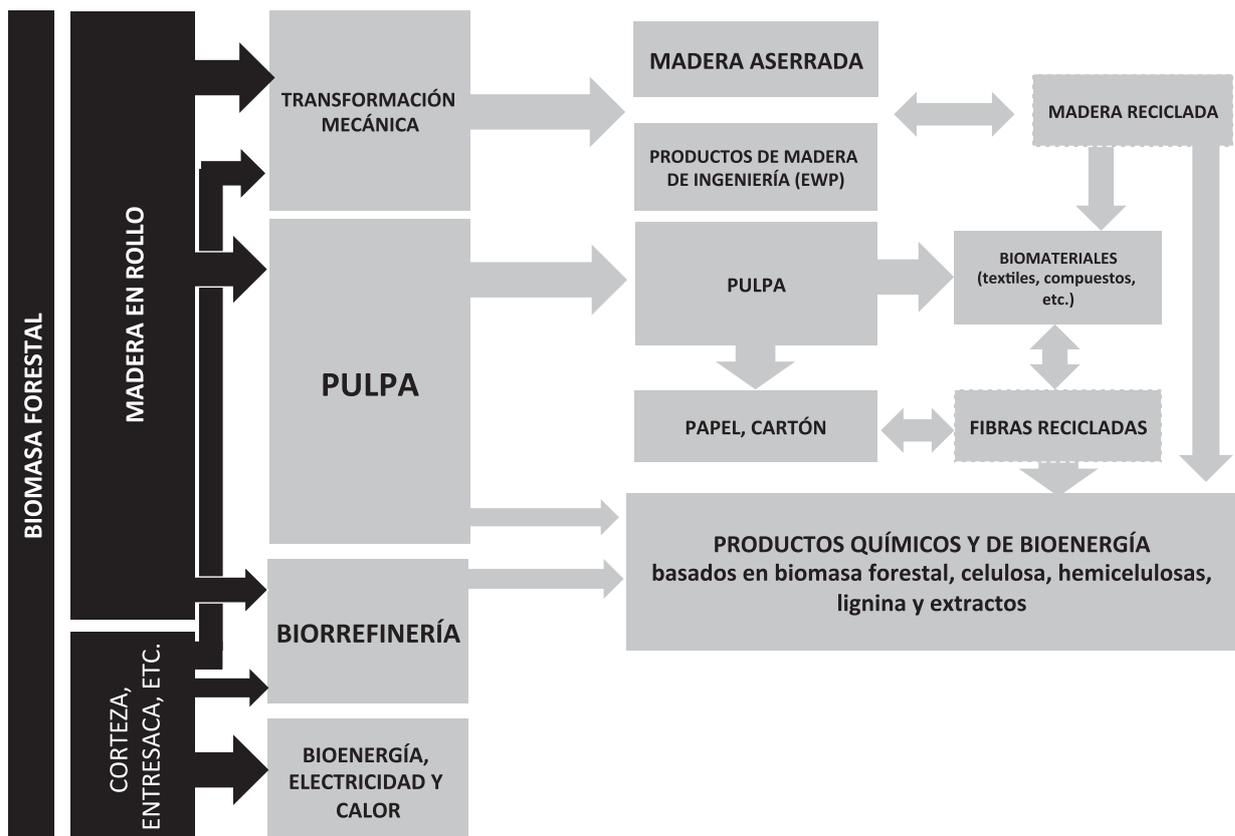
Fuente: Elaboración propia, basada en VTT.

## ABF 1. Manejo forestal

La bioeconomía de la gestión forestal se centra en actividades forestales sostenibles relacionadas, por ejemplo, con el cultivo de especies nativas y exóticas, la mejora genética de árboles y la biotecnología forestal, el inventario forestal, el desarrollo de maquinaria forestal inteligente y la cosecha y transporte de biomasa a base de madera.

Refiere entonces, por un lado, a la conservación de bosque nativo y, por otro, al cultivo y extracción de madera dedicada a actividades productivas, al determinar cuáles son las especies utilizadas para la posterior transformación industrial, así como a las tecnologías que se utilizan para mejorar la calidad del insumo forestal.

**Gráfico 4. Flujos de biomasa, procesos y productos potenciales de la ABF 1, manejo forestal**



Fuente: Elaboración propia, basada en VTT.

Como se ilustra en el gráfico, de esta ABF depende el resto de la cadena productiva, ya que la biomasa se encuentra en el centro de todas las actividades económicas relacionadas con la bioeconomía forestal. La gestión forestal tiene impactos de largo

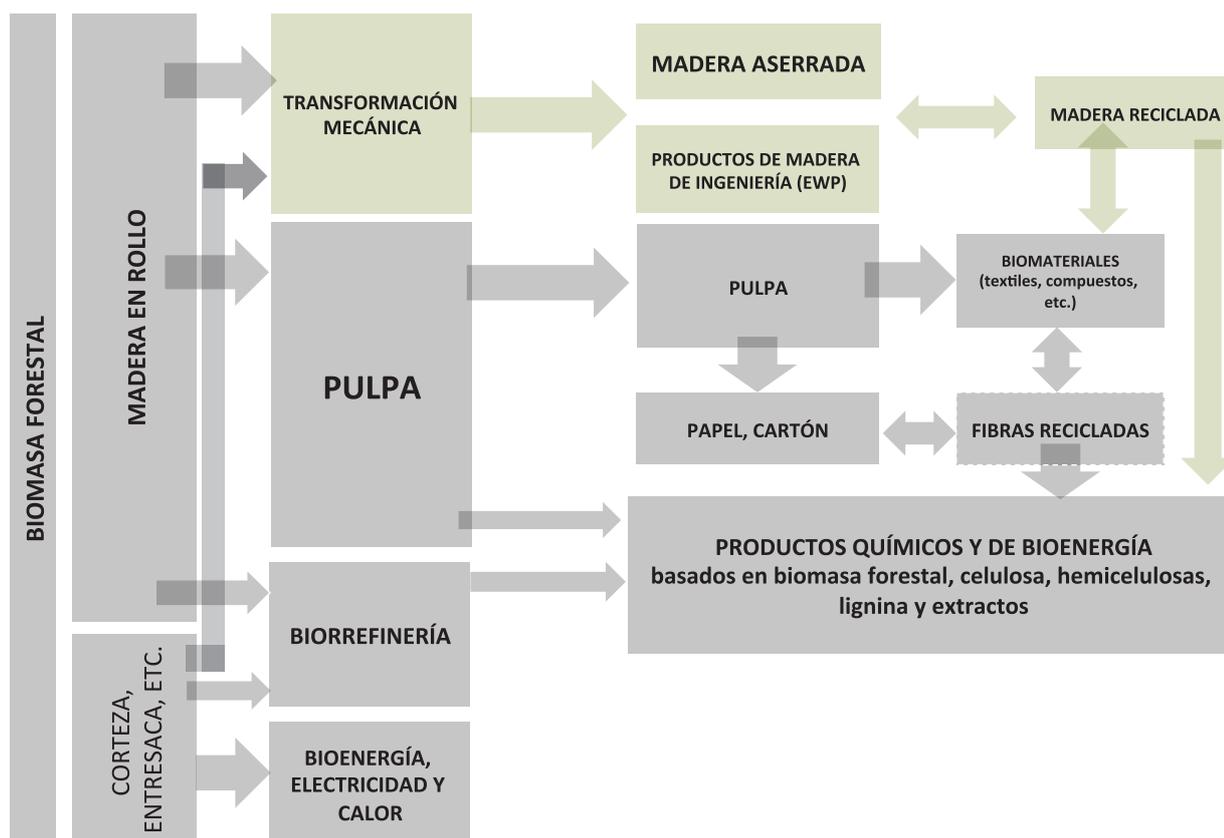
plazo, no solo por la disponibilidad, sino también por la calidad de la madera. En ese sentido asegurar una buena base de materia prima disponible para varios procesos y aplicaciones es clave para cualquier negocio de bioeconomía forestal en el futuro.

## ABF 2. Transformación mecánica de la madera

El procesamiento mecánico de la madera se enfoca en la transformación de la madera en productos estructurales y no estructurales versátiles, tales como madera aserrada, tableros contrachapados,

muebles y elementos de construcción, entre otros. En esta área se encuentran las mayores oportunidades de desarrollo para el sector en Uruguay mediante el agregado de valor a la materia prima a través de su transformación en madera aserrada o productos de ingeniería de madera, que a su vez tienen el potencial de ser utilizados en la construcción.

**Gráfico 5. Flujos de biomasa, procesos y productos potenciales de la ABF2, transformación mecánica de la madera**



Fuente: Elaboración propia, basada en VTT.

Asimismo, esta ABF está vinculada con otras áreas de bioeconomía basadas en los bosques, ya que los residuos y subproductos de la transformación mecánica de la madera pueden ser utilizados en la producción de bioenergía, en la fabricación de celulosa y en biorrefinerías.

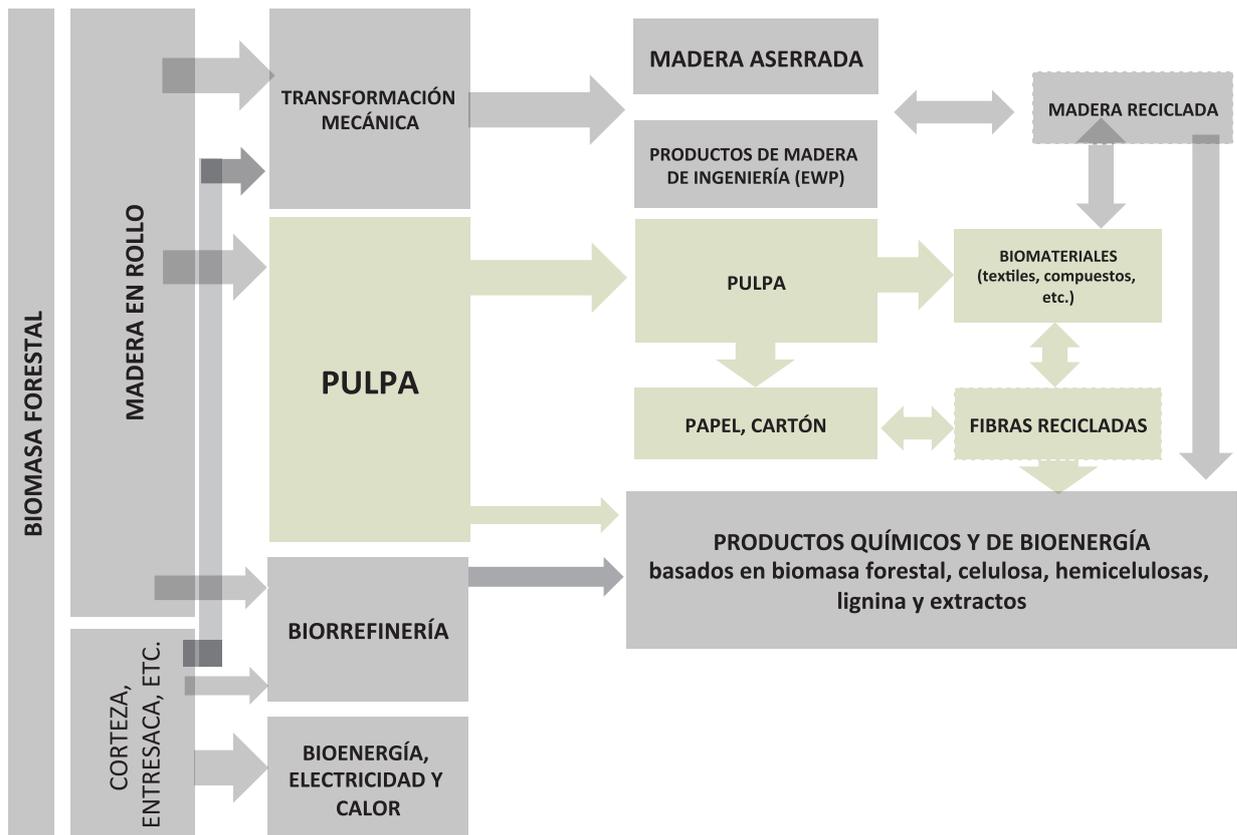
Entre los productos destacados de esta ABF se encuentran la madera tratada térmicamente; madera aserrada; productos de ingeniería de madera tales como madera laminada cruzada (CLT), madera microlaminada (LVL), tableros orientados perpendicularmente (OSB), paneles, contrachapados; y muebles.

### ABF 3. Celulosa y biomateriales

Tradicionalmente, el enfoque en esta área ha sido la elaboración de productos a partir de pulpa, papel y cartón. Sin embargo, también se han producido otros tipos de biomateriales, como fibras textiles a base de madera. Recientemente, se han desarrollado

nuevas formas de biomateriales basados en fibras de valor agregado; estos nuevos tipos de biomateriales incluyen espumas, nuevos tipos de fibras textiles, hilos y (bio) compuestos. El progreso en esta materia no solo requiere del desarrollo de tecnologías de pretratamiento y deslignificación, sino también de avances en tecnologías de fibra.

**Gráfico 6. Flujos de biomasa, procesos y productos potenciales de la ABF 3, celulosa y biomateriales**



Fuente: Elaboración propia, basada en VTT.

Entre los productos se destacan la pulpa kraft, la pulpa de disolución, el papel de embalaje, el papel de impresión, papel tisú y otro tipo de productos

higiénicos, biocompuestos, las fibras textiles y nanocelulosa, entre otros.

## ABF 4. Biorrefinería

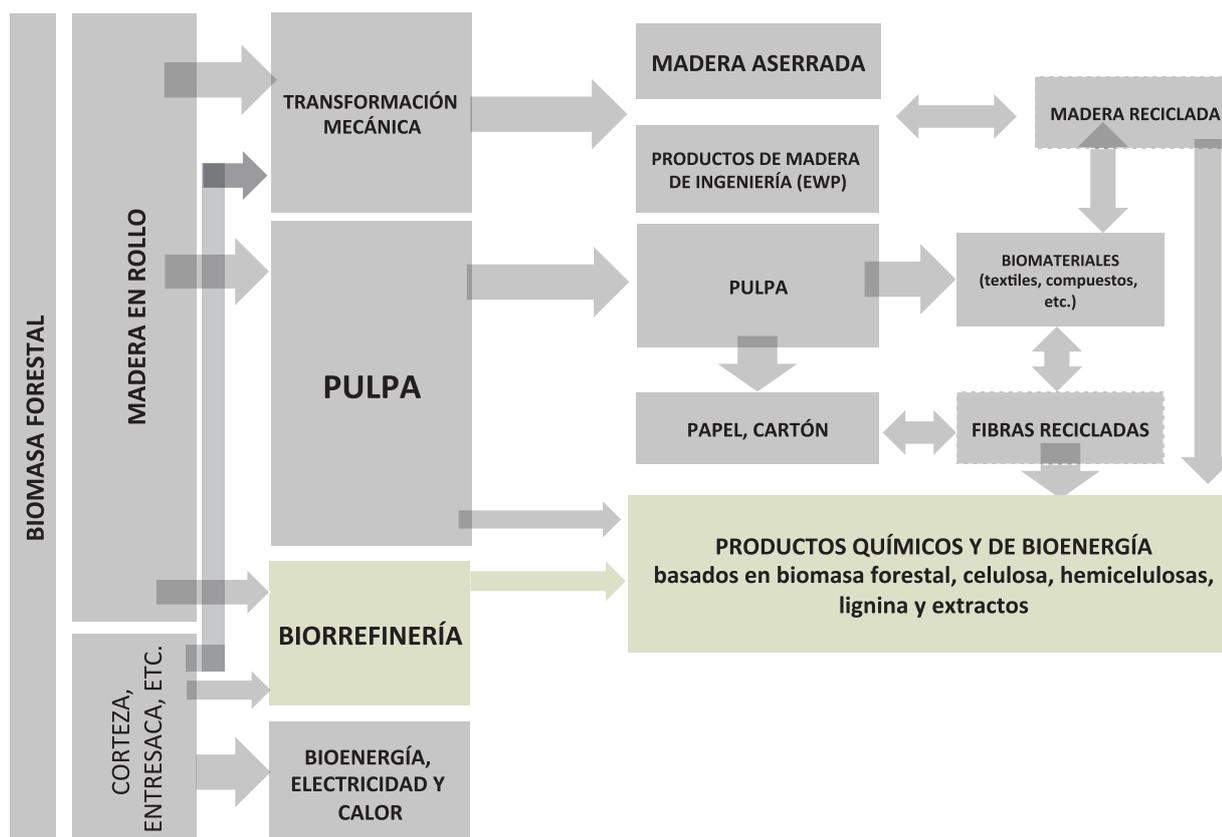
Esta área de bioeconomía forestal analiza la posibilidad de desarrollar nuevos productos, con una lógica de economía circular, a partir del procesamiento químico de la celulosa, la lignina y las hemicelulosas.

Mientras que la ABF anterior se concentra en biomateriales basados en fibra, el enfoque en la biorrefinería se basa en la fabricación de otros

productos químicos. Las áreas tecnológicas claves relacionadas con las biorrefinerías incluyen las tecnologías de pretratamiento, conversión y separación, aplicación de biotecnología industrial y tecnologías de procesamiento para biopolímeros.

Los productos más promisorios para esta ABF son resinas, aceites, alcoholes, aromatizantes, bioplásticos, biopolímeros, productos farmacéuticos y otros bioquímicos.

Gráfico 7. Flujos de biomasa, procesos y productos potenciales de la ABF 4, biorrefinerías



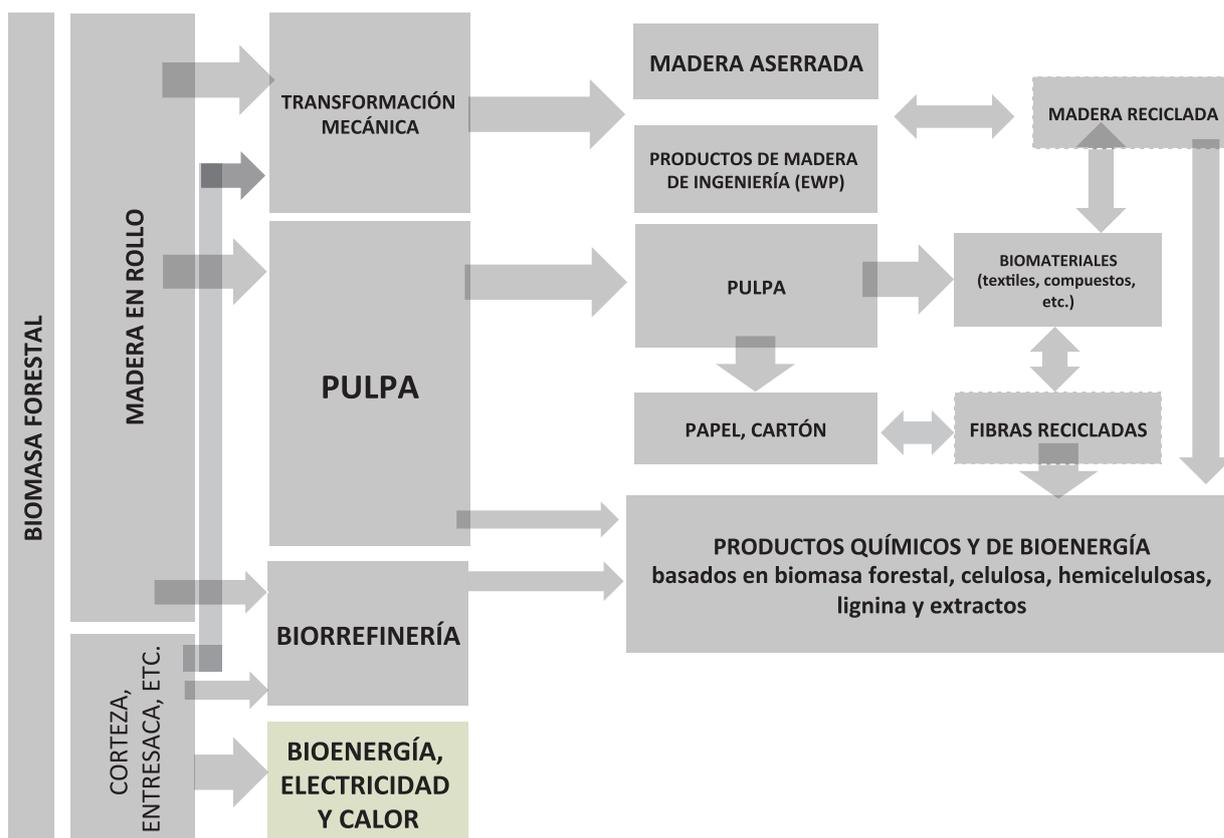
Fuente: Elaboración propia, basada en VTT.

## ABF 5. Bioenergía

Destaca las posibilidades de generar energía a partir de biomasa, enfocada en un uso eficiente de los residuos de la transformación industrial así como de la propia cosecha y raleos. La integración con fábricas de pasta y biorrefinerías también juega un papel importante.

Las tecnologías de conversión termoquímica, como gasificación, combustión y cocombustión, pirólisis, hidrólisis ácida y enzimática, fermentación gaseosa/líquida e ingeniería metabólica permiten la producción de una variedad de bioenergía a partir de la biomasa forestal que van desde electricidad hasta biocombustibles líquidos, pellets, briquetas y otros bioquímicos.

**Gráfico 8. Flujos de biomasa, procesos y productos potenciales de la ABF 5, bioenergía**



Fuente: Elaboración propia, basada en VTT.



---

## III. Estado de las ABF en el mundo

El objetivo de esta fase fue definir el estado del arte de las ABF en el mundo, tomando en cuenta las dimensiones ambiental, tecnológica, política, económica y social, en relación con los países de referencia. Para ello, se llevaron a cabo entrevistas con expertos, revisiones bibliográficas y académicas así como talleres entre expertos finlandeses de VTT y LUKE así como instancias de trabajo con técnicos locales de FING/UEDELAR.

Esta etapa es el cimiento de las siguientes, ya que define la línea de base para posteriormente analizar las brechas y necesidades del sector forestal uruguayo respecto a las fronteras identificadas que, a su vez, son insumo para la construcción de la visión sectorial y la elaboración de la hoja de ruta.

### 1. Manejo forestal

La biomasa de base forestal es el centro de todas las actividades económicas relacionadas con la bioeconomía forestal. El manejo forestal tiene impactos de largo plazo en la biomasa forestal, no solo por la disponibilidad y sustentabilidad del recurso forestal sino también por la calidad y costo de la madera. El desarrollo de maquinaria inteligente, así como la digitalización y utilización de plataformas informáticas son tecnologías transversales con creciente importancia en las actividades de la gestión forestal, y en particular en lo referente a la medición y contabilización del bosque y sus contribuciones en términos de servicios ecosistémicos.

En términos económicos, el manejo forestal y procesamiento de madera para distintos usos suponen oportunidades para el emprendedurismo, la demanda de trabajo y el desarrollo rural. Existen empresas que han generado su nicho de mercado en la provisión de servicios al sector forestal, tanto a nivel local como mundial. Muchas de las actuales multinacionales proveedoras de servicios tienen

sus orígenes en países con un desarrollo mayor de las plantaciones, con una aparición relativamente reciente en el mercado mundial si se las compara con las grandes empresas papeleras o de aserrío.

Las oportunidades para el desarrollo de nuevos emprendimientos se pueden encontrar en las áreas de viveros, desarrollo de semillas, plantines, poda, raleos, reforestación, cosecha y transporte, así como en la provisión de servicios relacionados. Gran parte del valor agregado del sector se encuentra en estas actividades relacionadas con las plantaciones, que representan en torno a un tercio del valor de la madera puesta en planta en Uruguay.<sup>16</sup>

Además, la provisión de semillas y plantines es un rubro que ha permitido la ampliación de negocios de algunas empresas centradas en la forestación, que han ido diversificando su rubro dentro del sector.

Desde la perspectiva del manejo forestal, las prácticas sostenibles son cuestiones a tomar en cuenta a medida que se incrementa el tamaño de las plantaciones forestales en Uruguay. En caso de que existan nuevas inversiones de gran porte en pulpa, papel, cartón, aserraderos o productos de ingeniería de madera, posiblemente sea necesario incrementar el tamaño de las plantaciones por razones logísticas y de volumen. En general, incrementar la producción, eficiencia y valor de los recursos forestales actuales debería ser enfatizado en el corto y mediano plazo, mientras que incrementar el tamaño total de las plantaciones posiblemente sea necesario a largo plazo, de acuerdo a la opinión de expertos de VTT.

El desarrollo sostenible requiere la evaluación desde el punto de vista de ecosistemas y secuestro de carbono, análisis del impacto del cambio climático en el balance hídrico, capacidad de carga y productividad del suelo, estudios de viabilidad realizados por las empresas y por instituciones públicas competentes a nivel local y nacional, así como buscar oportunidades y necesidades para la población rural y definir requerimientos de especies plantadas.

---

16 Informe para Uruguay XXI, 2018.

Otros puntos importantes se relacionan con la sostenibilidad ecológica de las plantaciones forestales y el balance con el uso de la tierra para diferentes propósitos, como forestación, producción de alimentos, pastoreo, etcétera. El uso de agua en las plantaciones forestales es de importante consideración en un contexto más amplio en donde pueden existir impactos hídricos negativos para el ambiente y la sociedad. En este sentido, existen investigaciones académicas realizadas para el país, con la cooperación de algunas de las empresas más grandes del sector, que monitorean y evalúan el efecto de las plantaciones sobre la calidad de los suelos, el uso del agua y su impacto sobre las cuencas próximas.

Además de las reglamentaciones establecidas por los gobiernos nacionales y locales, en el sector forestal tienen gran importancia los mecanismos de regulación *de mercado*, como la certificación de los bosques, que determinan las prácticas aceptables desde el punto de vista ambiental y social. En este sentido, tomando como referencia al Forest Stewardship Council (FSC), algunas de las cuestiones consideradas en un producto de base forestal requieren que el origen de la madera sea legal y que las operaciones cumplan la normativa de la Organización Internacional del Trabajo (OIT); que las actividades se desarrollen en áreas que no sean de gran valor de conservación o desplacen bosque nativo; y madera a partir de árboles genéticamente modificados.

Los bosques contribuyen a tener un balance negativo de las emisiones de gases de efecto invernadero, al actuar como un sumidero de carbono, lo cual puede abrir oportunidades para la venta de permisos de emisión para otros países. Algo similar ocurre para aquellos países que cuentan con un desarrollo importante de su sector forestal; Suecia, por ejemplo, estima que la captura de carbono de sus bosques supone tres veces el total de emisiones del país.<sup>17</sup>

La existencia de mecanismos de apoyo a la forestación es algo a considerar en el desarrollo del sector. Además de la posibilidad de involucrarse en mercados de carbono existen otro tipo de

herramientas, tales como los *bonos verdes*, que permiten el financiamiento de actividades que contribuyen a una economía baja en carbono, como es el establecimiento de plantaciones. En este marco y recientemente, empresas como la chilena CMPC y la brasileña Fibria, que operan en el contexto regional, han obtenido 500 millones y 700 millones de dólares respectivamente para financiar proyectos considerados sustentables, en línea con estándares ambientales determinados, vinculados con el manejo forestal, la conservación y biodiversidad, manejo de residuos, agua o energía.

A medida que las actividades del sector se desarrollen aún más y eventualmente el área de plantación sea incrementada, será cada vez más necesario considerar la variedad de géneros y especies plantadas para hacer frente a la demanda. Esto tiene que ser tomado en cuenta en el manejo forestal, desde una perspectiva de largo plazo, para evitar cuellos de botella en la provisión de materia prima. En paralelo, se debe facilitar la existencia de madera de distinto tipo, calidad y edad, para cada una de las fases posteriores —madera para pulpa, madera aserrable, bioenergía—. Aunque la etapa primaria del negocio forestal genera retornos durante un período mucho más extenso que las etapas posteriores de transformación, el análisis de los productos claves con una mirada de futuro debe de ser un propulsor para la forestación comercial.

Por otra parte, con respecto al manejo forestal, es relevante considerar otros usos para los bosques, y en particular para el bosque nativo, así como sus vinculaciones con otras actividades, como la ganadería y la apicultura por mencionar algunas. Crecientemente se reconoce el valor de los servicios ecosistémicos del bosque, tanto en lo que hace a aspectos ambientales como a otros de carácter intangible para el bienestar de las personas, como espacio para la recreación y el turismo, entre otros.

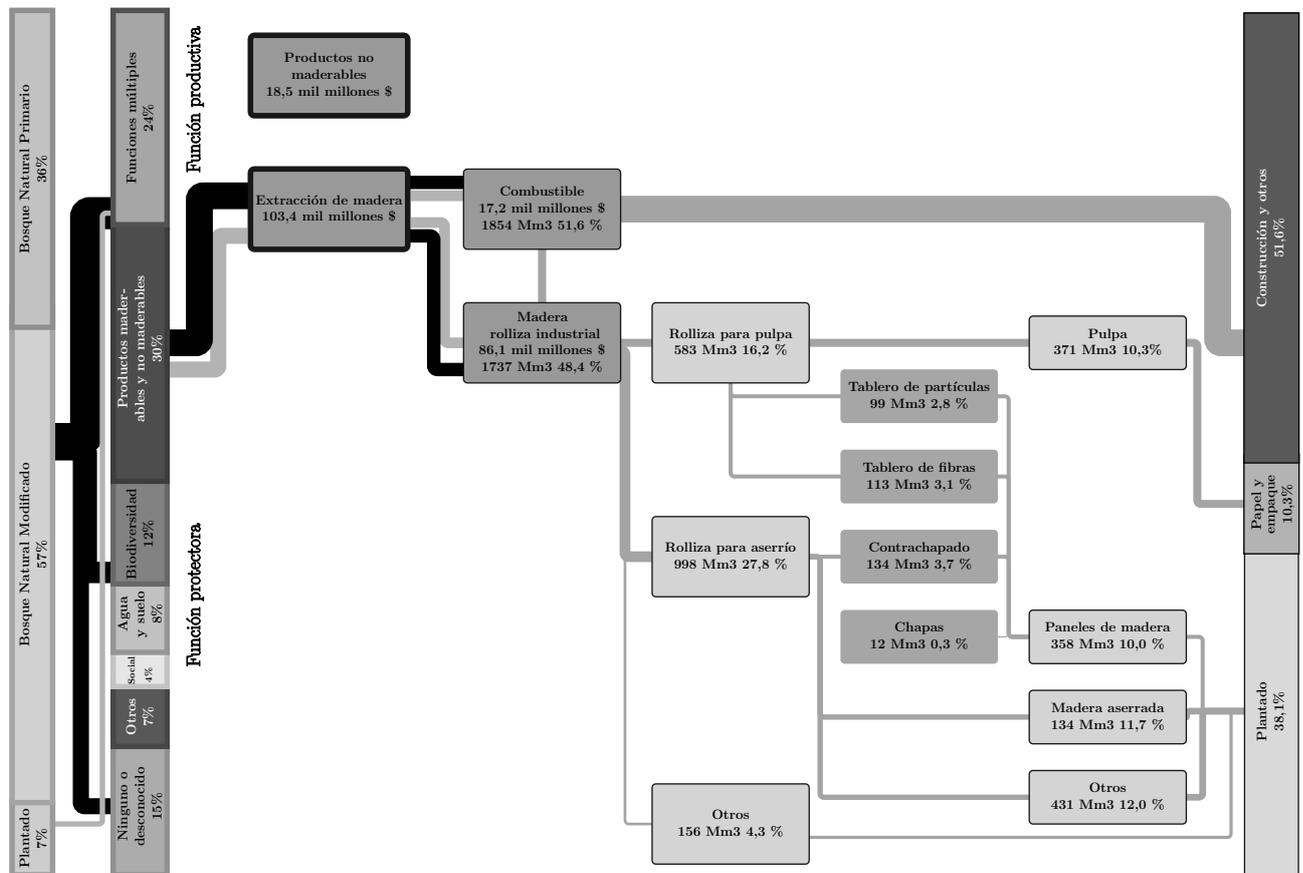
El gráfico 9 muestra los usos actuales de la biomasa en el mundo. Se observa que aproximadamente el 52 % del total de madera se destina a combustible, mientras que la cadena de pulpa de celulosa toma el 16 % y el restante 32 % integra la cadena de madera sólida.

17 Reporte anual 2017 de Sveaskog.

Asimismo, como puede verse en el gráfico 10, la extracción de madera rolliza a nivel mundial se ha mantenido relativamente estable en las últimas

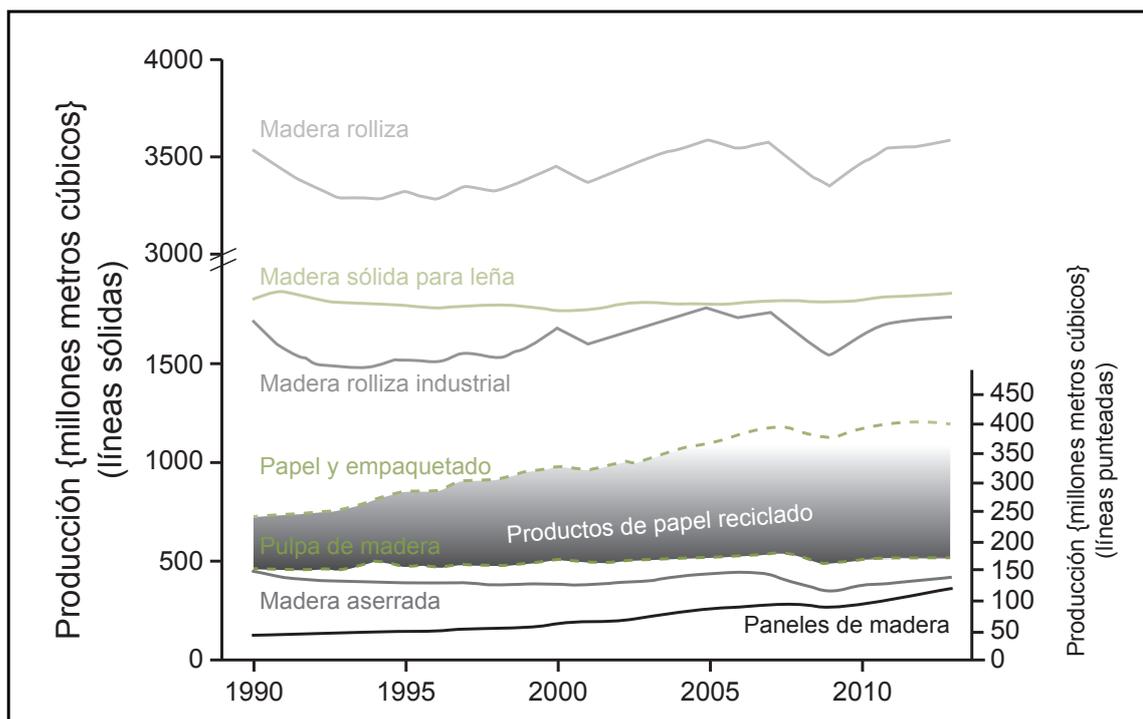
décadas, mientras que ha aumentado la producción de papel y cartón y la de paneles de madera.

**Gráfico 9. Flujos de madera a nivel mundial**



Fuente: Traducción de esquema presente en Ramage et al. (2017).

**Gráfico 10. Extracción de madera y producción basada en madera.**



Fuente: Ramage et al., 2017.

## 2. Transformación mecánica de la madera

Sobre la base de los avances tecnológicos recientes y la experiencia de otros países, Uruguay presenta un gran potencial para desarrollar la construcción en madera, tendencia que se manifiesta a nivel global. El mercado global de la industria de productos de madera ronda los 170.000 millones de euros anuales.<sup>18</sup> Además de los países mencionados, China destaca como un importante productor de manufacturas de madera, con un aumento anual en la producción de contrachapado que ronda el 10 %, aun cuando queda terreno para el mayor uso de tecnología en sus procesos.

La industria de transformación mecánica es madura y las innovaciones en este campo suelen ser incrementales, por lo que se vuelve más importante la habilidad de adoptar rápidamente soluciones desarrolladas en otros países.

El desarrollo de una industria de la construcción en madera es visto como uno de los principales vehículos para dinamizar la bioeconomía forestal en el mundo. La madera presenta ciertas características que apoyan fundamentalmente su uso como material de construcción:

- a. es renovable y sostenible;
- b. consume una fracción de la energía utilizada para producir productos equivalentes, como hormigón, metal o plástico;
- c. actúa como un sumidero de carbono, reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero; y es biodegradable;
- d. presenta una alta resistencia mecánica, especialmente para su baja densidad; y
- e. es potencialmente competitiva frente a la construcción tradicional.

A la hora de elegir un sistema constructivo, no solo el costo es el factor determinante, también se consideran factores como la seguridad contra incendios, el tiempo de construcción, el aislamiento acústico, la estabilidad estructural, la eficiencia energética, la durabilidad, el transporte, la estética, la sostenibilidad y el reciclaje; en la mayoría de estos indicadores, la madera tiene un mejor desempeño que el acero y el hormigón.<sup>19</sup>

Fortalecer la demanda local de productos de madera, por ejemplo en la construcción, puede inducir al desarrollo de la industria de transformación mecánica en Uruguay. El uso de la madera como una materia prima renovable para la construcción y producción de materiales de construcción de alta calidad puede a su vez proveer beneficios ambientales por su capacidad como sumidero de carbono. De todas formas, considerando el tamaño del país, el volumen del mercado doméstico por sí solo no es suficiente para dar empuje a la industria de transformación mecánica, que requiere poner el foco en los mercados de exportación. Las compañías de gran tamaño pueden ser tractoras para el desarrollo de la industria, lo cual prepara el terreno para un incremento de las pequeñas y medianas empresas en el sector.

Dada la posibilidad de que el aumento en el consumo de productos de madera tenga como desenlace la sustitución de productos de base petroquímica, debe considerarse que el apoyo a este sector puede repercutir positivamente en los objetivos relacionados con la mitigación y adaptación al cambio climático. En este sentido, empresas del sector buscan relacionar sus actividades con objetivos de desarrollo sostenible (ODS). Se estima, por ejemplo, que un metro cúbico de LVL o contrachapado almacena entre 750 y 1050 kilogramos de carbono, lo cual más que compensa las emisiones realizadas durante su proceso de producción.

La expansión de la construcción global de madera para cumplir con los objetivos de bajas emisiones requeriría productos más sofisticados, como productos de ingeniería de madera (EWP, por sus siglas en inglés). De esta manera, el pino se detecta como la principal especie para el desarrollo de productos de ingeniería de madera debido al menor costo de la materia prima, su gran disponibilidad y la abundante tecnología y conocimiento existente para fabricar productos de ingeniería de madera

<sup>18</sup> Reporte anual de Raute, 2017.

<sup>19</sup> Hemström et al., 2011.

de coníferas en contraposición al más escaso conocimiento en trabajo con productos de frondosas. Estos componentes de madera para la construcción presentan un altísimo valor agregado entre los productos forestales, de allí el creciente interés en desarrollar este nicho de mercado.

Además, la transformación mecánica de la madera genera grandes volúmenes de residuos (aserrín, viruta, desperdicio de corte) que pueden ser utilizados para la fabricación de paneles, celulosa, bioquímicos o bioenergía. De esta forma, además de producir un aumento en la demanda de soluciones de construcción en madera, se pueden reportar mayores beneficios al sector forestal a través de la

valorización de sus residuos para ser utilizados en la producción de otros productos de origen biológico.

En el futuro, el sector se vería beneficiado por un mayor desarrollo de la bioeconomía a nivel mundial. De acuerdo a los escenarios estimados por Kallio et al. (2015) en su modelo forestal global, bajo un escenario con políticas y consumidores adscriptos al concepto de bioeconomía, el consumo total de madera aserrada podría crecer entre 50 % y 80 % frente a un escenario tendencial en 2050. En particular, la producción de productos manufacturados de madera tendría los mayores incrementos en este escenario, como se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 2. Consumo de madera bajo diferentes escenarios de bioeconomía mundial**

Consumo en millones de metros cúbicos	Crunch			Bio-Inno			Bio-Stor		
	2020	2030	2050	2020	2030	2050	2020	2030	2050
Madera aserrada de coníferas	284	296	308	301	351	461	310	337	385
Madera aserrada de no coníferas	108	115	125	112	129	174	114	136	176
Láminas y tableros contrachapados	103	106	108	108	125	162	131	179	273
Particleboard y OSB	107	110	111	113	131	166	124	157	221
Otros tableros	101	104	103	107	123	154	134	197	322
<b>Total transformación mecánica Mm<sup>3</sup></b>	<b>704</b>	<b>732</b>	<b>755</b>	<b>741</b>	<b>859</b>	<b>1118</b>	<b>814</b>	<b>1004</b>	<b>1377</b>

Fuente: Kallio et al., 2015.

## Tendencias recientes de la construcción en madera

Los sistemas de construcción en madera han ido evolucionando paulatinamente, desde la utilización de madera aserrada de pequeño tamaño, transitando por el sistema de poste y viga, usando productos de ingeniería de madera, como madera laminada y encolada (GLT) o madera microlaminada (LVL), hasta la tendencia actual de madera en masa, principalmente utilizando madera laminada cruzada (CLT), cuya producción se incrementó hasta más de diez veces entre 2000 y 2013.<sup>20</sup>

En efecto, la construcción de madera está aumentando de manera global, principalmente utilizando productos de ingeniería de madera (EWP), cuyo máximo exponente es el CLT, a pesar de que todos los sistemas coexisten y son complementarios.<sup>21</sup> En la actualidad la principal barrera para cualquier sistema de construcción nuevo es la falta de conocimiento.<sup>22</sup> Algunas de las mayores inversiones recientes de empresas del sector están enfocadas en la producción de productos de ingeniería de madera, mejoras en las tecnologías de secado y corte. Los productos de ingeniería de madera tienen prevista una expansión anual de 25 % entre 2016 y 2022, lo que representa 40.000 millones de dólares para 2022.<sup>23</sup>

Asimismo, se están realizando grandes avances en la materia, con mecanismos de construcción cada vez más sofisticados, principalmente con CLT, que consumen grandes volúmenes de madera.<sup>24</sup> Recientemente se ha visto como el avance de la tecnología en la producción y diseño de productos de ingeniería de madera ha permitido la construcción de edificios multiplanta, rompiendo con el paradigma que sitúa a la construcción tradicional como única alternativa a estas tareas.

El CLT es competitivo en comparación con los edificios tradicionales y los costos por metro cuadrado disminuyen a medida que aumenta el

número de pisos. Además, los edificios con CLT se construyen más de tres veces más rápido que los edificios tradicionales.

La madera se usa comúnmente en muchos países para construir no solo edificios residenciales, sino también oficinas, depósitos y puentes, edificaciones de madera cada vez más grandes y complejas.<sup>25</sup> Un ejemplo de esta tendencia es que el 20 % de las casas nuevas en el Reino Unido y hasta el 70 % en Escocia contienen estructuras de madera.<sup>26</sup> En Suecia, el 90 % de los hogares unifamiliares están construidos sobre la base de madera, mientras que 10 % de los edificios multipiso utilizan marcos de madera (*timber frame*).<sup>27</sup>

En Europa, especialmente en Europa central y septentrional, la construcción en madera está creciendo actualmente con el apoyo de actores públicos e industriales y, parcialmente, la demanda de los consumidores. Los mercados de productos de ingeniería de madera, como el Glulam, LVL y CLT están creciendo en los países desarrollados, así como los paneles basados en madera (tableros de partículas, tableros de fibras, MDF).

Este sector se ve fuertemente influenciado por lo que ocurre en el mercado inmobiliario y de muebles. En este sentido, se puede verificar que la industria de transformación mecánica afrontó una importante caída luego de la crisis de 2008, suscitada por un colapso del mercado inmobiliario en los países desarrollados. En los últimos años el sector ha crecido en el mundo, y superó los picos anteriores a la crisis, fomentado tanto por lo ocurrido en Europa y América del Norte como por el continuo crecimiento del este asiático.

El consumo total de madera en Norteamérica viene creciendo desde 2009 pero aún permanece debajo del pico que se viera en 2005. Se estima que para 2020 el déficit de madera de la región alcanzará al 6 % de la demanda, lo que implica la necesidad de que se importe madera rolliza o productos de madera.<sup>28</sup>

20 Brandner et al., 2016.

21 Dangel, 2016.

22 Schmidt y Griffin, 2013.

23 Engineered Wood Market by Product Type (Plywood, Laminated Veneer Lumber (LVL), Glulam, I-Beams, Oriented Strand Board (OSB), Cross-Laminated Timber (CLT)) and Application Type (Residential Construction and Non-residential Construction) – Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2014–2022. <https://www.alliedmarketresearch.com/engineered-wood-market>

24 Xiong, Ouyang y Wu 2016.

25 Gerard y Barber, 2013.

26 Ramage et al., 2017.

27 Reporte anual de Sveaskog 2017.

28 Reporte anual de West Fraser, 2017.

Cabe destacar que incluso en países con un menor crecimiento previsto de población, como puede ser el caso de los países de Europa, seguirá existiendo una demanda sostenida de nuevas viviendas. En particular, en Suecia se estima que para 2025 será necesaria la construcción de 600.000 nuevas viviendas, lo que pronostica un importante uso de la madera como material de construcción.

En resumen, existe una tendencia global hacia el uso de la madera en la construcción.<sup>29</sup> Este tipo de construcción de madera moderna se basa en productos de ingeniería de madera (EWP), como la madera laminada cruzada (CLT), la madera laminada encolada (GLT) y la madera microlaminada (LVL), que se utilizan para prefabricar módulos transportables, lo que aumenta la productividad de la construcción, reduce enormemente los costos y hace más transable un sector que antes no lo era.

## *La situación actual de la construcción con madera en Uruguay*

El uso de madera aserrada y productos de ingeniería de madera en varios sistemas de construcción es bien conocido en países de Europa y Estados Unidos, entre otros, pero no en Uruguay. A saber, el uso de la madera como material estructural representa menos del 0,5 % del total de la industria de la construcción residencial en Uruguay.<sup>30</sup> La producción de madera aserrada nacional se resume a productos con poco valor agregado, tales como pallets, tableros de contrachapado y paneles de madera. Por otra parte, el consumo de madera uruguayo y regional es muy bajo —exceptuando Chile— lo que retroalimenta el escaso desarrollo del sector.

La construcción en madera se realiza en el mundo a partir de especies de coníferas, por lo cual

se espera que las especies de pino presentes en Uruguay constituyan el núcleo de desarrollo de la industria de transformación mecánica. La madera de variedades frondosas, como el eucalipto, ha sido usada en muebles, productos de interiores, contrachapado y otros. Los eucaliptos plantados en Uruguay, debido a sus dimensiones, tronco recto y, para algunas especies y clones, buenas propiedades técnicas y mecánicas, suponen un material adecuado para la transformación mecánica.

Uruguay aún no cuenta con un código de diseño de madera o normas para la clasificación de las propiedades mecánicas de las especies locales y requisitos de fabricación de productos de ingeniería de madera, aunque recientemente se creó un comité de normalización en madera estructural y está avanzando en esa dirección.

La disponibilidad de madera producida localmente en Uruguay se ha incrementado en los últimos treinta años debido a las políticas públicas que promueven las plantaciones de crecimiento rápido.<sup>31</sup> Debido al gran volumen de madera requerido para la manufactura, la producción de CLT podría ser un destino apropiado para el superávit actual de madera de pino existente en Uruguay.<sup>32</sup>

Se ha identificado que una limitante para el desarrollo de las unidades más pequeñas de producción es la tecnología actualmente utilizada en el proceso de secado, el cual muchas veces se realiza a la intemperie. De acuerdo a información del censo de aserraderos, solo el 21 % de los aserraderos del país contaba con un horno de secado en sus instalaciones, aunque estos aserraderos representan una importante proporción de la producción de madera aserrada.<sup>33</sup> En aquellas plantas que han integrado la producción de productos a partir de madera (celulosa, papel, madera sólida u otros), el vapor generado en algunos procesos se puede utilizar para el secado de la madera.

29 Dangel 2016; Ramage et al., 2017.

30 Moya et al., 2013.

31 Moya, L., Cardoso, A., Cagno, M. and O'Neill, H., (2015). «Structural characterization of pine lumber from Uruguay», *Maderas: ciencia y tecnología*, 17(3), pp. 597–612.

32 Baño, V., D. Godoy y A. Vega (2016). *Experimental and numerical evaluation of cross-laminated timber (CLT) panels produced with pine timber from thinnings in Uruguay*. A conference paper available at ResearchGate.

33 Censo de aserraderos.

## Maderas uruguayas como material de construcción

Las secciones anteriores han demostrado que los productos de ingeniería de madera se encuentran entre los productos forestales más atractivos en términos de desempeño económico. Sin embargo, la pregunta sigue siendo si Uruguay podría utilizar su madera local para fabricar productos estructurales, qué tipo de estructuras podrían construir con ellos —viviendas, edificios altos, almacenes, puentes, etc.— y a qué costo.

Las coníferas son las especies más utilizadas para la fabricación de componentes de construcción de madera, en parte porque hay mayor conocimiento de sus propiedades frente a las especies frondosas. En este sentido, Uruguay tiene un gran recurso de pino, utilizado solo parcialmente. Además, existe un interés creciente en el uso de maderas duras para componentes de construcción, debido a las propiedades mecánicas y de durabilidad más alta.

## Propiedades mecánicas de la madera uruguayana

Las propiedades mecánicas de la madera dependen de la especie y su procedencia. La clasificación de la madera se define internacionalmente para agrupar especies de propiedades mecánicas similares, de manera de estandarizar los productos de madera a partir de su resistencia, rigidez y densidad.

Se vienen realizando importantes esfuerzos desde hace unos años por clasificar las maderas nacionales como materiales constructivos, y para normar la construcción con madera. Ambas especies plantadas en Uruguay pueden ser aptas para uso estructural, la elección depende principalmente de la disponibilidad de biomasa y su costo.

A continuación se presenta una tabla que da cuenta de la categoría en la que se encuentran las maderas uruguayas de acuerdo a sus características de resistencia.

**Tabla 3. Clases de resistencia de especies de coníferas y frondosas, tomadas de la norma europea EN 338 (CEN 2016a)**

	Coníferas y chopo												Frondosas							
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
<b>Propiedades de resistencia (en N/mm<sup>2</sup>)</b>																				
Flexión	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tracción paralela a la fibra	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tracción perpendicular a la fibra	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compresión paralela a la fibra	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Compresión perpendicular a la fibra	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Cortante	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
<b>Propiedades de rigidez (en kN/mm<sup>2</sup>)</b>																				
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (5% percentil)	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Módulo medio de cortante	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
<b>Densidad (en kg/m<sup>3</sup>)</b>																				
Densidad	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900
Densidad media	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080

Fuente: FING/UDELAR.

Las especies de pino que se están recolectando a edades de 15 y 25 años y sus propiedades mecánicas corresponden a una clase de resistencia C14 según la norma europea EN 338: 2016, más baja que la clase de resistencia de referencia para coníferas (*Picea abies*) en Europa (C24).<sup>34</sup> En cambio, las propiedades mecánicas de *Eucalyptus grandis*, según los primeros resultados de la investigación, son similares a una clase de resistencia C20 de la norma europea EN 338: 2016.<sup>35</sup>

### **Alto costo regional para químicos, incluyendo químicos básicos y adhesivos**

Otro aspecto determinante en la elección de una especie para la construcción es la durabilidad natural. El pino y el eucalipto uruguayos tienen baja resistencia a la actividad biológica.<sup>36</sup> Las soluciones químicas que protegen la madera contra hongos o insectos podrían reforzar el pino a través de la impregnación, pero no al eucalipto, dadas sus características anatómicas, por lo que no es posible utilizar esta madera en contacto con el exterior.

Asimismo, para el desarrollo de productos de ingeniería de madera se requiere del uso de adhesivos estructurales, necesarios para que la madera resista los esfuerzos físicos y mecánicos. Estos adhesivos son de origen petroquímico y no se producen en el ámbito local.

En este sentido, Uruguay presenta un escaso desarrollo de la industria química. La competitividad del sector químico en la región es pobre, tanto por baja escala como por la poca cantidad de actores, acceso a la tecnología, barreras comerciales, entre otras. Esto afecta el costo de los productos terminados y, por lo tanto, su competencia frente a otras regiones.

En efecto, la adquisición de productos químicos a menores costos que los actuales es clave para el desarrollo, no solo del sector de transformación mecánica, sino el forestal en su conjunto.

La producción de tableros a base de madera para la industria de la construcción requiere adhesivos en grandes cantidades. Para algunos productos, como MDF u OSB, el costo del adhesivo afecta en gran medida la viabilidad económica de un proyecto, y en el caso del OSB llega a representar hasta un tercio del costo total.

Incluso en el caso de las plantas de celulosa en Uruguay, que están ubicadas en zonas de libre comercio, los productos químicos básicos se suministran desde el exterior o desde operaciones internas, lo que aumenta la complejidad del negocio y no mejora la competitividad del resto del país.

Una interrogante que surge es si es viable crear en Uruguay una industria química con base lignocelulósica, asociada al sector petroquímico, para fabricar productos químicos que abastezcan al sector e incluso a otros sectores de la economía.

### **Viabilidad técnica de la construcción con madera uruguaya**

Como se mencionó, actualmente se produce madera aserrada de bajo valor agregado. Sin embargo, algunos resultados sugieren que la madera nacional se puede usar para fabricar distintos tipos de productos de ingeniería de madera (GLT, CLT, LVL, entre otros), lo que podría mejorar potencialmente las propiedades mecánicas de la materia prima nacional.

Investigaciones recientes destacan, por ejemplo, que las especies de pino y eucalipto uruguayos son aptas para producir GLT.<sup>37</sup> Asimismo, recientes investigaciones resaltan las características del pino uruguayo para la producción de paneles CLT, con destino a la construcción de viviendas y edificios residenciales altos. Otros usos para edificios altos (oficinas, uso comercial, etc.), que implican mayores cargas impuestas, deben analizarse más a fondo, aunque los primeros estudios muestran el potencial de uso de los paneles CLT uruguayos.<sup>38</sup>

Reforzando esto, estudios en diferentes países están demostrando que maderas con propiedades mecánicas bajas podrían usarse con éxito para producir CLT,<sup>39</sup> priorizando la madera de alta resistencia para otros productos, como GLT u otro tipo de madera aserrada. Actualmente la madera GLT estructural no se fabrica en Uruguay, pese a que recientes resultados de proyectos de investigación con fabricantes locales demostraron su viabilidad, tanto a través de especies de pino como de eucalipto.<sup>40</sup>

34 Moya et al., 2017.

35 Dieste, 2012

36 Böthig et al., 2008.

37 Vega A., Baño V., Pérez-Gomar C., Cardoso A., Godoy D., 2017; Pérez-Gomar C., Baño V., 2018.

38 Baño et al., 2018.

39 Baño, Godoy y Vega, 2016; Sikora et al., 2016; Fortune, A.L., Quenneville, 2011.

40 Moya, 2017.

## En síntesis

- La construcción en madera es un sector incipiente en Uruguay, pero con un gran potencial de desarrollo.

- Uruguay carece de una tradición de construcción en madera, ya que las plantaciones forestales tienen solo unas décadas.

- La oportunidad de desarrollar un mercado local y regional para el EWP uruguayo es clara, ya que estos productos requieren la proximidad del usuario final.

- El desarrollo global de la construcción en madera tiene el potencial de dinamizar la bioeconomía forestal.

- El pino uruguayo y el eucalipto —*Pinus elliottii/taeda* y *Eucalyptus grandis*— son maderas de construcción válidas, y sus especificidades están incluidas en el estándar de referencia europeo para clases de resistencia (EN 338).

- Se ha demostrado la factibilidad estructural del uso de GLT de pino y eucalipto uruguayo para edificios residenciales y no residenciales y para puentes peatonales y de carretera.

- Se ha demostrado experimentalmente la aptitud estructural del pino uruguayo para la fabricación de paneles CLT destinados a la construcción de viviendas y edificios residenciales altos —hasta diez pisos—.

- La expansión de la construcción global de madera genera un mercado para productos de alto valor de madera de coníferas; por lo tanto, la actual plantación de bosques de pinos es un recurso sin explotar con alta disponibilidad.

- La madera aserrada y, por consiguiente, los productos de ingeniería de madera requieren un destino para los subproductos de la transformación mecánica: viruta, aserrín y corteza. Esto abre paso a la integración del sector de transformación mecánica con otros del sector forestal (transformación química, biorrefinerías y bioenergía).

- El desarrollo del mercado local y regional de productos de *Eucalyptus grandis* presenta algunas ventajas simples: 1. las propiedades mecánicas son más altas que las de pino; 2. como no existe una tradición de construcción en madera, la madera de eucalipto clasificada no sustituye a otras especies de madera dura, además es la única madera dura disponible en volumen y calidad constante.

## 3. Biomateriales basados en fibra

El desarrollo de fibras y de productos químicos a partir del procesamiento de la lignina y la hemicelulosa con técnicas de pretratamiento, deslignificación y conversión, entre otras, constituyen el eje central de las ABF 3 y 4: celulosa y biomateriales y biorrefinerías, respectivamente.

### *Pulpa de celulosa blanqueada (BEKP): producto con precio decreciente*

La pulpa kraft blanqueada (BEKP) se utiliza principalmente para producir papel de impresión y productos de higiene. A principios de los años 2000, la producción de papel de impresión y escritura alcanzó un máximo y luego comenzó a disminuir; por lo tanto, el principal destino de BEKP es la materia prima para la fabricación de papel blando para productos higiénicos.<sup>41</sup> Se trata del principal producto de exportación de la industria forestal uruguaya, y cuyo precio mantiene una tendencia decreciente y con gran volatilidad.<sup>42</sup>

41 Arasto et al., 2018.

42 Diesen, 2007; Schaefer, 2016.

Los fenómenos recientes que marcan esta tendencia son los siguientes:

- a. Gran capacidad de nuevas plantas en comparación con el mercado existente.
- b. Asentamiento de industrias forestales en el hemisferio sur en torno a una base forestal más eficiente.
- c. Falta de consolidación de la industria, con muchos jugadores que compiten.

El mercado de papel está sufriendo fuertes transformaciones. Solo existen dos áreas de crecimiento: papel tisú y empaquetado, de las cuales solo la primera se fabrica con pulpa blanqueada.

El mayor consumidor de esta pulpa sigue siendo el sector de la impresión y la escritura. Su demanda se mantiene estable debido a factores contrapuestos: por un lado, la sustitución de papel por medios digitales, y por el otro, el aumento de la demanda en los mercados emergentes —principalmente Asia— y el desarrollo incipiente del mercado de tejidos.<sup>43</sup> Por lo tanto, se supone que la tendencia de precios a la baja no va a cambiar en el futuro.

El mecanismo previsto para abastecer el mercado será la apertura de nuevas plantas en el hemisferio sur (Brasil, Chile, Nueva Zelanda, Sudáfrica, Indonesia) y el cierre de plantas más pequeñas e ineficientes en el hemisferio norte.

Ya existen grandes empresas regionales en el sector. En Chile se destacan CMPC y Arauco, ambas con inversiones en Uruguay, Argentina y otros países de la región. En Brasil aparecen como relevantes Klabin, Suzano y Fibria, las dos últimas con planes de unificar operaciones, lo que las transformaría en la mayor empresa celulósica del mundo. Dichas empresas tienen operaciones industriales casi exclusivamente basadas en celulosa y en Brasil, si bien cuentan con oficinas comerciales en los principales mercados mundiales.

## Otros biomateriales basados en fibra

Según los expertos, la integración de la producción de diferentes tipos de papel y cartón para empaquetado a las plantas de producción de celulosa es una dirección evidente a considerar en Uruguay. La existencia de mercados que permitan esta expansión es necesaria, para lo que se precisa profundizar en los estudios de mercado. Naturalmente, la producción de papel y cartón también requiere la disponibilidad de materiales y químicos de proceso, lo que potenciaría el desarrollo de la industria química local.

Este tema demanda un enfoque proactivo, debido a la gran dependencia de la tecnología elegida con las características finales de la pulpa obtenida; las decisiones críticas son tomadas en la fase de diseño de una nueva planta, y en una etapa posterior las inversiones para realizar modificaciones a los procesos son considerables.

La producción de cartón fue identificada como una oportunidad para realzar el agregado de valor en la ABF. El sector agrícola y de producción de alimentos conforma una parte importante de la economía uruguaya y tiene perspectivas de mantener su crecimiento, creando demanda para material de empaquetado con destino de exportación. Además, puede existir demanda de soluciones de empaquetado por parte de otros países de la región con similares características. En Brasil, la producción de bolsas industriales se ha orientado a abastecer sectores como alimentos o café, así como a la exportación a otros países de las Américas.

En lo que refiere a la producción de empaquetados para líquidos, la empresa brasileña Klabin es la única que se encuentra elaborando el producto en la región.<sup>44</sup>

Tecnológicamente, el proceso kraft continúa siendo el sistema dominante en la producción de pulpa química para las próximas décadas, debido a que no se aprecian nuevas tecnologías viables a gran escala para un horizonte de quince a treinta años. Dentro de las nuevas inversiones, además de la permanente ampliación de la capacidad instalada que se verifica en países como Brasil o Indonesia, las empresas han hecho inversiones de menor escala en las plantas de producción de pulpa de celulosa ya existentes en Europa, con el objetivo de redirigir la producción hacia otro tipo de productos basados en celulosa.

43 Farinha e Silva, Mendes Bueno y Rodrigues Neves, 2017.

44 Reporte anual Klabin, 2017.

Existe potencial para construir líneas de proceso semiquímico al sulfito neutro (NSSC, por sus siglas en inglés) a ser integradas en las plantas existentes para la producción de papel onda (*flutting*) y la posterior elaboración de cartón corrugado utilizado para empaquetado de gran resistencia. Hasta el momento, solo se registra la existencia de líneas de producción NSSC a pequeña escala en Latinoamérica.

Plantas grandes de NSSC integradas a operaciones kraft existen, por ejemplo, en Australia, Suecia, Polonia, Norteamérica, Rusia, Finlandia y Sudáfrica; algunas de ellas son plantas independientes con su propio sistema de recuperación, que además pueden incluir un sistema de separación de subproductos, por ejemplo lignosulfonatos.

Una de las tendencias recientes en el pulpeo químico ha sido la creciente demanda de pulpa de disolución (*dissolving pulp*), especialmente para textiles, pero también para otros usos. Para responder a esta demanda, se vienen constatando diversas conversiones de líneas de producción de kraft a pulpa de disolución (en Norteamérica, Europa, Asia, Chile y Brasil). Stora Enso ha hecho inversiones en su planta de Enocell —pasando a una capacidad de producción de 430.000 toneladas anuales— con el objetivo de transformar plenamente la producción a pulpa de disolución tanto de fibra corta como larga. En Chile, de forma similar, Arauco ha invertido 180 millones de dólares para la implantación de su planta de pulpa de disolución en Valdivia.

Al día de hoy se producen más de seis millones de toneladas de pulpa de disolución, 7 % de las cuales proviene de Brasil. Naturalmente, es deseable que existan industrias cercanas para el posterior procesamiento de la pulpa de disolución en textiles o químicos (como carboximetilcelulosa y otros éteres).

Rayonier Advanced Materials destaca como una empresa que ha desarrollado su negocio celulósico en torno a productos de especificidad derivados de la celulosa (HPC, por sus siglas en inglés). Con una capacidad de producción anual de hasta 750.000 metros cúbicos es el mayor productor mundial de este segmento, y para los productos de mercado reporta precios similares a los de la celulosa, mientras que en los productos de especialidad alcanzan un precio que es el doble de esta. Ambos factores reflejan que este puede ser un segmento de alto valor agregado pero con un volumen mucho menor. Su producción se centra en acetato de celulosa; éteres para pinturas,

*coatings* y productos farmacéuticos; viscosa de alta resistencia; diversas pulpas, papeles y cartones.

Más allá de esto, los expertos que participaron en el taller notaron la importancia de la existencia de un sector diversificado. La concentración de las actividades forestales en la producción de pulpa crea un sesgo en la estructura industrial que puede exponer al sector a shocks externos.

El eucalipto como una materia prima de crecimiento rápido provee a Uruguay de una ventaja comparativa, junto a otros países de condiciones ambientales similares. El paradigma actual lleva a producir la celulosa cerca de la fuente de fibra y el producto final cerca del mercado. La competencia creciente, sin embargo hace necesario realizar un continuo monitoreo de la situación.

La demanda para fibra larga —pino, por ejemplo— y corta —eucalipto, por ejemplo— es un tema a considerar, por la diferencia de sus propiedades. Brasil y Chile producen actualmente pulpa a partir de pino; algo que podría ser considerado en Uruguay. La celulosa de pino facilitaría, por ejemplo, producción de *talloil* y trementina. La más reciente planta de destilación de talloil fue construida en Brasil en 2009.<sup>45</sup>

Debe considerarse de todas formas que prácticamente todo el incremento de capacidad instalada en producción de celulosa en los últimos cinco años ha estado asociado a la producción de celulosa de fibra corta, y en particular eucalipto.

## ***El mercado celulósico y de biomateriales basados en fibra***

Actualmente, los principales mercados de celulosa y productos basados en celulosa están localizados en Estados Unidos, Unión Europea y Asia. Las operaciones con Estados Unidos son más complicadas debido al proteccionismo existente; mientras que Asia, y en particular los mercados del Lejano Oriente, continúa siendo el factor dominante del crecimiento de la demanda global de productos basados en madera.

En los próximos años se espera que tanto la pulpa de fibra corta como de fibra larga crezcan, a tasas respectivas de 3 % y 2 %, mientras que los productos basados en pulpa *fluff*, como los pañales, tienen una previsión de crecimiento mayor.

45 La planta de Resitec en Brasil es la más reciente planta de destilación, sin embargo existen proyectos para la separación de talloil, como se discute en [http://www.xinhuanet.com/english/2018-04/28/c\\_137142394.htm](http://www.xinhuanet.com/english/2018-04/28/c_137142394.htm)). A nivel mundial existen alrededor de 23 plantas de destilación, solo una de las cuales se encuentra en Sudamérica.

En la región, en un mercado grande como el brasileño, el incremento de consumo de papel tisú fue de 3,7 % anual en los últimos años.

Recientemente, el incremento en capacidad instalada de producción de celulosa de mercado no redundó en una fuerte caída de los precios de la celulosa, en parte por un sostenido incremento de la demanda y también por la decisión de China de restringir la importación de papeles reciclados a su país. A diferencia de lo que ocurre con la celulosa exportada por Uruguay, donde los mercados asiáticos suponen casi la totalidad de las exportaciones, las grandes empresas brasileñas destinan un porcentaje importante a mercados europeos.<sup>46</sup>

En los países desarrollados, el incremento de demanda ha venido por los productos de empaquetado para alimentos y otros. La preocupación por la posible contaminación de la comida al utilizar fibras recicladas mantiene además una demanda constante de producción a partir de nuevas fibras.<sup>47</sup> Además, el incremento en la concientización de los consumidores demanda mayor uso de material renovable en el empaquetado de productos alimenticios, lo que ha llevado a que se investigue el desarrollo de soluciones más livianas y que permitan que no traspase la grasa o humedad de las comidas.

En la tabla 4 se presentan estimaciones de largo plazo de consumo de pulpa y papel en distintos escenarios de desarrollo de la bioeconomía. Se puede observar que el aumento de producción en los escenarios más optimistas es menor que para el caso de la madera aserrada. En particular, no se espera que exista incremento del papel para impresión pero sí para materiales de empaquetado y pulpa de disolución.

La caída del mercado de papel para impresión ha sido sostenida en los últimos años, pero, debido a que fue debidamente anticipada por los principales productores del sector, el precio no se vio modificado sustancialmente. A modo de ejemplo, el principal productor de papel para impresión en el mundo, Resolute Forest, anticipó en su estrategia el movimiento hacia otras áreas de actividad dentro de la transformación industrial de la celulosa.

También se observa una demanda creciente de pulpa de celulosa, tanto de fibra corta como larga, impulsada por China.

**Tabla 4. Escenario de producción de pulpa y cartón en diferentes escenarios de desarrollo de bioeconomía global**

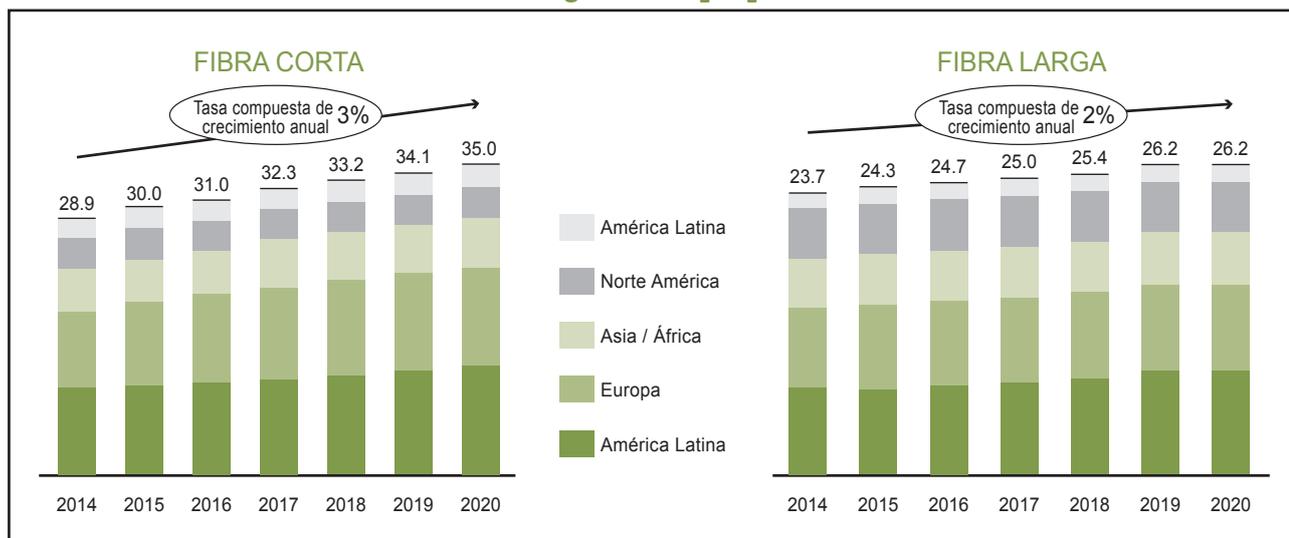
Consumo en millones de metros cúbicos	Crunch			Bio-Inno			Bio-Stor		
	2020	2030	2050	2020	2030	2050	2020	2030	2050
Papel prensa	20	19	20	20	19	20	20	19	20
Papel libre de madera	67	65	66	67	65	66	67	65	66
Papel a partir de madera	25	23	23	25	23	24	25	23	23
Cartón plegable y otros tipos de cartón para empaquetado	60	67	78	62	74	91	60	62	80
Materiales para cajas	165	186	215	171	204	251	165	189	220
Papel sanitario	38	46	62	38	47	64	38	47	64
Otros tipos de papel y cartón	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Pulpa de disolución y nuevas fibras	7	10	18	9	35	74	8	15	37
<b>Total industria celulósica Mm3</b>	<b>414</b>	<b>448</b>	<b>514</b>	<b>424</b>	<b>499</b>	<b>622</b>	<b>415</b>	<b>452</b>	<b>542</b>

Fuente: Kallio et al. (2015).

46 Fibria 33%; Suzano 30%.

47 Reporte anual Metsä, 2017.

## Gráfico 11. Estimación de demanda global de pulpa 2014-2020



Fuente: Presentación de Klabin.

### En síntesis

- Existe una variada literatura sobre las propiedades de la pulpa y el papel de la madera de eucalipto local.<sup>48</sup>
- Por el contrario, no hay información disponible sobre las propiedades de la pulpa y el papel potencialmente fabricable con pino local.
- La pulpa blanqueada parece tener una rentabilidad relativamente baja, probablemente debido a una fase de precios bajos. Sin embargo, tiene un mercado estable en el corto y mediano plazo. La evolución de los precios en los últimos treinta años, y en particular en los últimos diez años, muestra un bien muy demandado pero con precios decrecientes.
- El mercado se ha reconfigurado con la apertura de nuevas plantas de celulosa en el hemisferio sur y la reconversión de plantas pequeñas en el hemisferio norte hacia la producción de biomateriales basados en fibra.
- Creciente interés en materiales como la pulpa de disolución, que amplía el abanico de posibles usos finales de los biomateriales basados en fibras.

48 Balmelli y Resquin, 2005; Doldán, 2006; Resquin et al., 2005.

## 4. Productos de biorrefinería: alto potencial futuro

El concepto de biorrefinería comprende una amplia gama de tecnologías capaces de separar los recursos de biomasa —madera, pastos, maíz, etc.— en sus distintos componentes —carbohidratos, lignina, proteínas, triglicéridos— con el fin de convertirlos en productos de valor agregado, tales como biocombustibles y productos químicos. En otras palabras, una biorrefinería es una instalación que integra procesos y equipos de conversión de biomasa para producir biocombustibles, energía y productos químicos a partir de biomasa. Es un concepto análogo a la refinería de petróleo actual, que produce múltiples combustibles y productos derivados del petróleo, solo que a partir de biomasa —renovable—.

Si bien existe una gran variedad de usos potenciales de nuevos productos derivados de celulosa, hemicelulosas y lignina, la mayoría de ellos aún se encuentran en la fase de estudio, laboratorio o prototipo. Los cambios estructurales comenzaron en la industria forestal a nivel mundial a principios de la década de 2000, cuando la producción de papeles de impresión alcanzó su mayor volumen de producción, y comenzó a disminuir después de 2006. La evolución reciente de los negocios se ha caracterizado por inversiones en otros usos, como bioenergía y producción de tableros, así como el desarrollo de productos de papel tisú y productos higiénicos. En un futuro próximo, el consumo de papeles gráficos seguirá disminuyendo, mientras que los envases industriales y de consumo, así como los tejidos, crecerán aproximadamente en línea con el PIB.<sup>49</sup>

Las biorrefinerías y el desarrollo de nuevos bioproductos diversifican e incrementan la eficiencia en el uso de la madera en el sector como un todo, por lo que contribuyen a la sustentabilidad de las actividades, permitiendo utilizar la biomasa forestal como materia prima de forma integral. Los productos actuales y avizorados que resultan de la biorrefinería incluyen productos tradicionales y nuevos, estos últimos pueden ser sustitutos de productos realizados a partir de otros materiales derivados del petróleo.

Existen diferentes tipos de biorrefinerías basadas en madera. Actualmente, se ha puesto mucha atención a la conversión de plantas de celulosa (y otras operaciones forestales) a plantas más avanzadas de biorrefinería o bioproductos.<sup>50,51</sup> Existen también muchos esfuerzos en I+D+I para el desarrollo y comercialización de procesos independientes para la producción de biocombustibles, bioquímicos y materiales variados a partir de madera, sin embargo, de acuerdo a los análisis realizados, la integración de la biorrefinería a otras operaciones supone una alternativa más beneficiosa.<sup>52</sup>

La mayor parte de las grandes empresas del sector cuenta con líneas de investigación que procuran el desarrollo de productos de biorrefinería, con mayor o menor grado de inversión. Además de algunos ejemplos mencionados debajo, pueden señalarse algunas operaciones que se espera concretar en los próximos años, como ocurre con Fibria o un proyecto de Rolute Forest, cofinanciado con fondos públicos del gobierno de Canadá.

De acuerdo a información de dominio público, en el proceso kraft, dominante en la producción de celulosa, los subproductos tradicionales incluyen talloil —1.500.000 toneladas—, trementina —200.000 toneladas— y lignina —más de 100.000 toneladas—. Entre ellos, existe mayor demanda que oferta para los primeros dos, lo cual ha llevado a que se aislen cantidades crecientes de productos a partir de colofonia y resina de pino. Existen procesamientos de este tipo de biorrefinería en Latinoamérica; en Brasil, por ejemplo, las plantaciones de pino han sido usadas para este propósito —Resitol aísla fitoesteroles a partir de talloil—. De todas formas, la cantidad de destilerías de talloil, resina y trementina sigue siendo baja en la región.

En Finlandia y Suecia, dos empresas —UPM y Sunpine— también producen biodiésel de alta calidad a partir de aceite de pino. El volumen de madera de pino en Uruguay podría justificar la existencia de una planta de celulosa kraft de mediana escala, para producir pulpa de fibra larga para papel o cartón, a la vez que productos químicos de pino y lignina kraft.

Los materiales higiénicos y textiles se encuentran entre los productos de fibra más demandados, debido al crecimiento de la población y al mejoramiento de las condiciones de vida. En las próximas décadas, la

49 Harlin et al., 2018.

50 L. P. Christopher (ed.), *Integrated forest biorefineries*, RSC Publishing 2012, 307.

51 M. A. Johnson and P. W. Hart, «Integrating a biorefinery into an operating kraft into an operating kraftmill», *BioResources* 11 (2016), 10677–10710.

52 Lundmark et al. (2018), Large scale implementation of biorefineries.

celulosa podría producir más del 30 % de la demanda de fibra textil, lo que provocaría un gran aumento del mercado.<sup>53</sup>

Debido a una serie de innovaciones —reciclaje, fabricación, aplicaciones— y cambios culturales, como la creciente importancia de los materiales de base biológica y la conciencia del consumidor sobre la sostenibilidad, la celulosa se utilizará de manera diferente a la actual, lo que provocará cambios en el mundo industrial.<sup>54</sup>

## *Nuevos productos de celulosa*

El aumento de la demanda de productos higiénicos y de limpieza está relacionado con el cambio en el comportamiento del consumidor. Las telas no tejidas son la columna vertebral de las industrias y las fibras a base de aceite que se utilizan actualmente no son amigables con el ambiente y son difíciles de reciclar. Los productos de valor agregado con mayor potencial de refinación de telas no tejidas se encuentran en productos de empaque, higiene o cosméticos —por ejemplo, las bolsas no tejidas pueden reemplazar las bolsas de plástico—.

Comercialmente se planea convertir varias plantas de celulosa que son demasiado pequeñas para producir pulpa de manera rentable a fin de que produzcan pulpa de disolución. De todas formas, la producción de telas no tejidas se puede integrar dentro de la cadena de producción de pulpa, al igual que en la producción de papel.<sup>55</sup>

Los envases individualizados para productos alimenticios y comidas preparadas a menudo requieren envases de plástico que pueden ser sustituidos por material reciclable y renovable en estos mercados en crecimiento. La celulosa termo-moldeable puede reemplazar el plástico de la industria petroquímica y ser una alternativa más amigable con el medioambiente, incluso a los bioplásticos existentes en envases, revestimientos y materiales estructurales.<sup>56</sup>

## *Productos a base de lignina*

La lignina es el subproducto más importante de las biorrefinerías lignocelulósicas y un valioso recurso renovable para la industria química. La industria de la fabricación de pulpa es la principal fuente de lignina, pero se espera que grandes cantidades de corrientes secundarias ricas en lignina se originen de la producción de bioetanol en el futuro. Aproximadamente el 25 % de la lignina de licor negro podría recuperarse sin comprometer la demanda de energía de una fábrica de celulosa.<sup>57</sup> Para Uruguay, de instalarse la tercera planta de celulosa, esto podría representar aproximadamente 300.000 toneladas por año, cuyo destino más prometedor sería para adhesivos de madera —lignina en resinas fenólicas—, a pesar de que también puede ser utilizada como plastificante de concreto de alto rendimiento y como reemplazante de dispersantes sintéticos en pinturas y recubrimientos.<sup>58</sup>

Sin lugar a dudas, ha existido un interés global en la lignina por varios años ya. Esto se ve demostrado por la instalación de sistemas de mayor capacidad para la recuperación de lignina kraft en Estados Unidos, Canadá, Finlandia y Brasil (así como otras que están en fase de planificación o negociación entre las plantas de celulosa y empresas proveedoras de la tecnología para la precipitación de lignina). Hasta el momento, únicamente Suzano en Brasil ofrece lignina kraft a partir de eucaliptos, el primer producto de este tipo luego de que ENCE lo comercializara en España. En muchos estudios, el producto resultó exitoso para resinas de fenol/formaldehído y poliuretanos.

Al momento, la lignina kraft parece encontrar mayor potencial de aplicación en áreas como pegamentos y adhesivos, especialmente para productos de madera y contrachapado. Por ejemplo, UPM en Finlandia ha comenzado a utilizar una nueva tecnología de pegamento WISA BioBond a partir de lignina en su propia fabricación de contrachapado. Con la nueva tecnología, 50 % del fenol de base fósil ha sido reemplazado por lignina kraft de coníferas. De forma similar, el adhesivo basado en lignina Lineo, desarrollado por Stora Enso, fue elegido como el bioproducto más destacado de 2018.<sup>59</sup>

En general, existe un amplio interés por parte de grandes empresas en reemplazar las resinas de base fósil por biomateriales, y en este sentido, se puede esperar que la demanda de lignina crezca en los próximos años. Puede pasar un tiempo más largo sin embargo, antes de que se desarrollen productos más avanzados basados en lignina kraft, como fibras de carbono, aditivos y antioxidantes.

Actualmente, existe una compañía en Estados Unidos que fabrica lignosulfonatos sintéticos a partir de lignina kraft, para aplicaciones como dispersante. Se justifica asumir que la demanda de este tipo de soluciones se incrementa si las fuentes tradicionales de lignosulfonatos continúan desapareciendo (en los últimos años un gran número de plantas de pulpa al sulfito se han ido cerrando).

Además de los usos mencionados para la lignina en resinas, también existe una demanda fuerte para plastificantes de hormigón, en especial en regiones donde existe un boom en la construcción. Para ese propósito, un producto oxidante (LigniOx) a partir del proceso de pulpeado kraft ha aparecido como sustituto eficiente de lignosulfonatos comerciales e incluso de preparaciones sintéticas.

El creciente mercado global para la construcción de madera exigirá la utilización de adhesivos en la fabricación de productos de ingeniería de madera, lo que impulsará el desarrollo de la lignina. Los adhesivos a base de resina de fenol-formaldehído derivado del petróleo son ampliamente utilizados. La lignina es fuente natural de fenol; además, es renovable, abundante y de bajo costo si se obtiene a gran escala.<sup>60</sup> No obstante, la situación tecnológica solo logra una baja sustitución del fenol mediante la lignina kraft, de hasta el 30 % en su nivel más alto.<sup>61</sup>

La tecnología para la producción de lignina a partir de licor negro se consolida<sup>62</sup> y las posibles aplicaciones, como adhesivos, dispersantes, películas, fibras de carbono, emulsiones asfálticas, aromáticos verdes, etcétera, están patentadas o investigadas intensivamente.<sup>63</sup> Sin embargo, el mercado de estos productos aún no está establecido. La sustitución de la matriz petroquímica por una biológica tiene un enorme potencial para el desarrollo de nuevos productos, aunque no en un rango de diez años; por lo tanto, hay una necesidad apremiante de investigación.

Esta introducción de tecnologías innovadoras permitiría la transformación de las fibras de madera con un menor nivel de inversión, dejando más lignina para fabricar productos, en lugar de producir electricidad, que presenta precios declinantes.

Debido a que la producción de pulpa de eucalipto no produce *talloil*, trementina, u otros subproductos similares, la recuperación de lignina de las plantas existentes merece una consideración minuciosa, tanto con destino para la industria de la madera como para otros mercados. En las plantas modernas, grandes cantidades de lignina podrían estar disponibles, pero esto requiere estudios profundos sobre el efecto que tendría la recuperación en los procesos químicos y los balances energéticos de las plantas kraft.

## Productos a base de hemicelulosa

Hoy en día existen muy pocas empresas que producen bioetanol de segunda generación a escala industrial, además de que aún hay incertidumbre respecto a su rentabilidad comercial.

La producción de etanol lignocelulósico sería posible en el marco de una biorrefinería donde la producción de productos de alto volumen y bajo costo —como el bioetanol— pudiera producirse junto con otros productos de valor agregado. Por lo tanto, las biorrefinerías industriales son esenciales para construir una nueva industria basada en biomasa.

Las hemicelulosas tienen potencialmente muchos usos, ya que es posible producir productos como el bioetanol, el xilitol y el butanol. Sin embargo, la obtención de productos de valor agregado a partir de hemicelulosas está limitada por el desarrollo actual de los procesos para extraer, separar y purificar los productos. Si bien están en desarrollo, aún no hay tecnologías competitivas que sean industrialmente aplicables a un costo competitivo.

Otros subproductos emergentes de interés a partir de la celulosa kraft incluyen las hemicelulosas —galactoglucomanos a partir de coníferas y xilanos a partir de latifoliadas— y metanol rectificado. Para las hemicelulosas o los azúcares monómeros correspondientes, se pueden encontrar

60 Kouisni et al., 2011.

61 Pizzi, 2016.

62 Kouisni et al. 2012; Gellerstedt et al. 2013.

63 Liitiä y Tamminen, 2016.

diferentes fuentes y procesos. Por ejemplo, el xilano puede ser recuperado mediante extracción acuosa de los chips antes de la producción de pulpa o en las etapas tempranas del proceso o por extracción alcalina de la pulpa blanqueada. La separación de xilano o xilosa está próxima a ser realizada en algunas plantas de América del Norte y en la planta de Sappi en Sudáfrica.

La nueva planta de bioproductos de MetsäFibre que comenzó a operar en 2017 en Finlandia ilustra la integración de viejos y nuevos enfoques. Los productos primarios de la fábrica no difieren marcadamente de otras plantas de celulosa, pero además se produce *talloil*, trementina, electricidad y vapor. La planta fue diseñada desde un comienzo con la idea de poder aprovechar el desarrollo de bioproductos de alto valor agregado, como biocompuestos, fertilizantes, fibras textiles, biocombustibles o aplicaciones para lignina. Las nuevas soluciones son desarrolladas como un ecosistema con colaboración cercana entre quienes forman parte de la planta. Existen otros proyectos similares en Finlandia, Estonia y Rusia, por ejemplo. Stora Enso destaca la producción en una de sus plantas de biocompuestos granulares, los cuales se fabrican a partir de chips de madera y material plástico y es un producto con características similares a las que pueden obtenerse del plástico. De manera similar, también se ha despertado interés en el desarrollo de biorrefinerías más avanzadas para el proceso semiquímico NSSC, como puede verse por los avances recientes de I+D en Canadá, la recuperación de lignosulfonato de Sappi en Sudáfrica, o de ácido acético en Finlandia y Estados Unidos. La integración del sistema de recuperación de químicos de las plantas kraft y NSSC genera importantes beneficios, aunque una planta NSSC de gran escala debería contar con su propio proceso de recuperación.

Los compuestos basados en fibra podrían abrir otra opción de productos de valor agregado a partir de madera, teniendo vínculos por ejemplo con el sector de construcción. Para el caso de Uruguay debería investigarse la disponibilidad de componentes adicionales a la madera para su producción.

Por otra parte, el uso de la corteza puede tener potencial en el sector farmacéutico, pero aún depende de avances en I+D. El uso de corteza para la producción de químicos usualmente es rentable solo cuando se hace a gran escala, típicamente aplicado para la recuperación de taninos para la fabricación de cueros. En Chile, por ejemplo, los taninos de la corteza de pino han sido usados como adhesivo para la elaboración de tableros de partículas a nivel industrial. En contraste, las hojas de eucalipto y los aceites esenciales extraídos de ellas tienen potencial para ser una fuente más interesante que la corteza para productos de alto valor agregado. De todas formas, la viabilidad y demanda de los aceites esenciales merece una exploración más detallada. Otras potenciales áreas de desarrollo incluyen plataformas de procesos a partir de azúcares, así como bioproductos y aislamiento de productos farmacéuticos y compuestos bioactivos.

En general, diferentes residuos y subproductos del proceso de producción de pulpa tienen potencial para la producción de productos de valor agregado y pueden contribuir al reemplazo de materiales y químicos de base fósil por otros biobasados. La integración de la industria forestal con otros sectores, especialmente la industria química, es esencial para este objetivo.

De acuerdo al modelo Global Forest Model, existirán en un horizonte cercano distintas tecnologías para la producción de combustible líquido y gas natural a partir de madera.

**Tabla 5. Tecnologías para la producción de gas natural sintético de diferentes fuentes**

Tecnología	Materia prima	Año disponible	Inversión estimada 2030 (EUR/KW)	Vida útil (años)	Producción de combustible / materia prima (2030)
Biodiésel, integrada	Madera	2020	2627	25	95%
Biodiésel, integrada	Licor negro	2030	2770	25	95%
Biodiésel, no integrada	Madera, cultivos 2da. gen	2020	2145	25	57%
Biodiésel, no integrada, CCS	Madera, cultivos 2da. gen	2030	2482	25	51%
Biodiésel, no integrada, CCS	Licor negro	2030	3200	25	92%
Biodiésel, no integrada	Madera, cultivos 2da. gen	2030	2459	25	57%
Biodiésel, no integrada, CCS	Madera, cultivos 2da gen	2030	2803	25	50%
SNG, no integrada	Madera	2020	1682	25	72%
SNG, no integrada, CCS	Madera	2030	1983	25	72%
Bio-oil pesado, integrado	Madera	2010	660	25	78%
Etanol	Cultivos 1ra. gen	2010	1060	25	56%
Etanol, ligno-celulósico	Residuos, cultivos 2da. gen	2020	1990	25	42%

Fuente: Kallio et al. (2015). CSS:captura y almacenamiento de carbono.

## En síntesis

- La industria de la celulosa debería evolucionar para producir papel tisú, envases y textiles. La sustitución del plástico petroquímico, impulsada por problemas ambientales y el comportamiento del consumidor, es una clara oportunidad.

- Alto costo regional para químicos, incluyendo químicos básicos y adhesivos.

- La producción de productos químicos a partir de madera muestra un alto potencial, pero la rentabilidad no es pronto previsible.

## 5. Bioenergía

La capacidad de generar energía a partir de biomasa en el sector forestal surge del aprovechamiento de los subproductos que dejan las otras industrias del sector. La biomasa puede ser aprovechada tanto para la generación de energía eléctrica y su uso en la misma industria, o volcada a la red de suministro, como para la producción de biocombustibles y la calefacción —residencial e industrial— de pellets y briquetas.

### *Energía eléctrica: sobreoferta y precio decreciente*

Antes de 2005, la matriz energética nacional dependía principalmente de la generación hidroeléctrica y los combustibles fósiles. Como el país no tiene posibilidad de construir plantas hidroeléctricas adicionales, la expansión de la demanda y la generación en años de sequía, se cubría incrementando la generación a partir de combustibles fósiles e importando energía eléctrica de Argentina o Brasil a un alto costo. En 2008, el gobierno promovió la generación de energía a partir de fuentes renovables, lo que permitió la instalación de productores privados de electricidad basados en biomasa, minihidroeléctricas, eólica y granjas fotovoltaicas. Esta política garantiza a los productores el precio de los kWh a tiempo y la compra de toda la energía producida durante 15 o 20 años.<sup>64</sup> Hoy en día, hay 62 empresas privadas que venden electricidad a la red en dos tipos de contratos: a) contratos a largo plazo; b) mercado spot.<sup>65</sup>

La política implementada fue extremadamente exitosa y desde 2013 Uruguay no solo prescinde de importar electricidad, sino que también exporta la energía excedente a Argentina y Brasil. Durante este desarrollo, primero se instalaron empresas privadas que generan energía a partir de biomasa, incluidas las dos grandes plantas de celulosa, que recibieron un precio fijo de entre 85 y 120 dólares por MWh.

Desde 2013, los parques eólicos se han incorporado progresivamente a la red, aumentando la capacidad de generación de 30 MW en 2013 a 830 MW en 2016. En la actualidad, la participación de la generación eólica en

la matriz de suministro alcanza el 30 % y se espera que para fines de 2018 supere el 35 %.

Como la generación de electricidad a partir del viento es más barata que a partir de biomasa, el precio al cual el gobierno compra energía eléctrica ha ido disminuyendo conforme se fue desarrollando la política energética.<sup>66</sup>

Di Chiara et al (2017) extrapolaron la generación eléctrica en Uruguay hasta 2046, con diferentes escenarios. Allí, los autores identifican las siguientes tecnologías como aquellas con potencial de expansión: parques eólicos, solares, turbinas aeroderivadas y generación de ciclos combinados. Como era de esperar, la energía obtenida a partir de la biomasa no se considera. En conclusión, la producción de electricidad a partir de biomasa es un proceso cuya rentabilidad está disminuyendo constantemente y se vuelve poco rentable para aquellas empresas que no utilizan la cogeneración. Por lo tanto, deben buscarse intensamente otros usos para la biomasa, hasta definir procesos y productos competitivos.<sup>67</sup>

### *Energía para calefacción residencial e industrial*

Los pellets y briquetas de madera son materiales combustibles que se producen a partir de la compactación mecánica de aserrín y cuyo elemento aglutinante es la lignina. Estas formas de combustibles pueden aumentar la eficiencia de la generación de energía térmica a nivel residencial, comercial e industrial de pequeñas empresas.

Tienen la ventaja de ser homogéneos en tamaño y poder calórico, reducir el peso del combustible necesario y en el caso particular de los pellets de poder manipular y manejarse como un combustible a granel, casi fluido. Asimismo, mientras la leña con un contenido de humedad del 30 % tiene un poder calorífico promedio de 2.900 kcal/kg, los pellets y briquetas tienen un poder calórico de 4.200 kcal/kg, 45 % superior a la leña.

El transporte de la leña es 40 % mayor en volumen, o sea que, para generar la misma cantidad de energía, hay que transportar 40 % más de leña que de pellets o briquetas. Los combustibles fósiles

64 Deutsche Welle (2017). Entrevista a Gonzalo Casaravilla.

65 ADME, 2017.

66 El 07 de noviembre de 2017, se anunció un acuerdo entre el gobierno uruguayo y UPM para la instalación de su segunda planta de celulosa. En el memorando de entendimiento, el precio de compra de la energía eléctrica se fija en 72,5 USD/MWh, frente a 90 USD/MWh negociados en 2006 para la primera planta de UPM, lo que implica una reducción del precio en un 20% (ROU-UPM 2017).

67 García de Soria, Villasante y Cabrera, 2008.

emiten 2,5 kilogramos de dióxido de carbono por cada kilogramo empleado, mientras que cualquier combustible biomásico tiene un balance neutro con el ambiente porque el dióxido de carbono que contiene es tomado de la atmósfera por los árboles de los cuales procede. En definitiva, por cada kilogramo de combustible fósil reemplazado por un combustible biomásico se evita la emisión de 2,5 kilogramos de dióxido de carbono.

En definitiva, estos combustibles biomásicos representan una energía más eficiente y fácil de manejar y transportar que la leña, y mucho más limpia en comparación con los combustibles fósiles.

En Uruguay existe una fábrica de pellets en Montevideo y una de briquetas en Palo Solo, Paysandú. En la actualidad se importan desde Argentina para atender la demanda local, pero el mercado aún espera por la aparición de plantas de pellets de gran porte, que puedan satisfacer la creciente demanda local, e impulsar el paso de muchas calderas que actualmente funcionan a leña y fueloil, y calefactores eléctricos y de gas licuado de petróleo (GLP) a pellets y briquetas.

El uso de la biomasa forestal tiene potencial en la producción de electricidad y calefacción, así como en biocombustibles líquidos y sólidos para el mercado doméstico y la exportación. Los residuos y desperdicios de la producción de productos forestales de mayor valor agregado deberían ser la biomasa primordialmente considerada para la generación de energía. En países con una participación importante de fuentes intermitentes, como la solar o eólica, las plantas de bioelectricidad pueden contribuir al balance de la red, al permitir un mayor porcentaje de generación basada en fuentes renovables.

Muchas de las tecnologías utilizadas para producir energía a partir de madera son maduras y pueden utilizarse con adaptaciones menores en Uruguay. Ejemplos de tecnologías maduras poco riesgosas incluyen la combustión, combustión combinada, gasificación y pirólisis. Las tecnologías de conversión termoquímica crean productos líquidos o gaseosos de mayor valor agregado a partir de una variedad de materias primas.

El secado, molido y compresión de biomasa en pellets permite contar con un producto transportable desde un punto de vista económico en comparación con los chips de madera y que se puede utilizar en combustión combinada en plantas previstas para carbón, con solo algunas modificaciones. Los pellets se venden en el ámbito internacional: Estados Unidos es el mayor exportador y la Unión Europea la principal

importadora. El mercado global anual de pellets fue de 26 millones de toneladas y se ha incrementado en la última década.

La demanda de bioenergía está impulsada por el llamado a la utilización de fuentes renovables en la producción energética, principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero. Además, el crecimiento económico y la urbanización en mercados emergentes también aumentan la demanda de fuentes alternativas. En países con recursos forestales considerables, como Finlandia y Suecia, la utilización de residuos de la producción de celulosa y madera aserrada para bioenergía es común y ampliamente desarrollada.

Se destaca que si bien el aumento de la demanda de fuentes renovables en la producción energética puede suponer la valorización de los residuos de otras etapas industriales, no parece posible que esta impacte fuertemente en el precio de la materia prima a utilizarse en los aserraderos o las plantas de celulosa.<sup>68</sup>

Las disposiciones de distintos países respecto a la necesidad de disminuir el consumo de combustible fósil en el transporte en un horizonte de diez a quince años son otra tendencia relevante en el sector. Si bien es esperable que el transporte eléctrico sea la solución más común para viabilizar este cambio, varias empresas, como Sveaskog (Suecia) o Neste (Finlandia), ven como posible pensar en un futuro híbrido, en el que los biocombustibles acompañen el transporte eléctrico. En particular, el biocombustible para aviones y flota marítima se ha visto como un área de desarrollo interesante, motivada por regulaciones internacionales que buscan incrementar la participación de la energía renovable en estos sectores.

En la industria de celulosa y papel, el uso de energía producida por la combustión del licor negro se ha convertido en una solución común en el mundo. El exceso de electricidad generado se vuelca, como ocurre en Uruguay, a la red eléctrica. La madera puede ser convertida en energía también en la producción de *combined heat and power* (CHP) con una alta eficiencia. La tecnología CHP se utiliza ampliamente en Finlandia y Suecia y algunas partes de Europa del Este, en combinación con infraestructura para la calefacción de residencias. Dependiendo del diseño de la planta, la biomasa puede ser utilizada en combustión combinada con otros combustibles bajo la forma de chips o pellets. Las plantas de CHP se adoptan en entornos con precios de electricidad altos y una red que demande calefacción. La demanda de procesos de calefacción en las industrias es generalmente más estable en comparación con las redes residenciales, en las que

68 Lundmark et al., 2018.

la variación estacional puede ser alta. En el caso de Finlandia, la industria forestal ha sido un propulsor adicional para establecer unidades CHP, que utilizan residuos y madera de menor calidad, complementando a la industria celulósica y de aserrío. Combinada con la tecnología adecuada, una planta CHP puede ser diseñada para incluir producción de bio-oil de pirólisis rápida —por ejemplo la planta de CHP Fortum en Joensuu, Finlandia—. Al aplicar distintos procesos, las plantas de CHP en el futuro cercano podrían evolucionar en plantas *combined heat and fuel* (CHF).

La flexibilidad operativa se vuelve más importante cuando la disponibilidad de energía solar y eólica es una proporción importante de la red, como ocurre en Uruguay. Un factor importante para estos productos en el futuro será la disponibilidad de energías solar y eólica de bajo costo en conjunción con la ausencia de alternativas fósiles. Además, las regulaciones de política pública y políticas para la reducción de emisiones impactarán en todas las inversiones de bioenergía.

La producción de combustibles líquidos a partir de fuentes renovables es uno de los potenciales grandes cambios en bioenergía. El conocimiento técnico requerido en el desarrollo de combustible líquido a partir de madera se puede encontrar en Finlandia, Canadá y China. Por ejemplo, la sucursal de Kaidi (empresa china) en Finlandia, se encuentra actualmente dispuesta a construir una biorrefinería de segunda generación en el norte de Finlandia. El proyecto aguarda desarrollos de la Unión Europea en política de energía renovable, en particular las nuevas directivas que establecen las materias primas permitidas para la producción de biocombustibles.

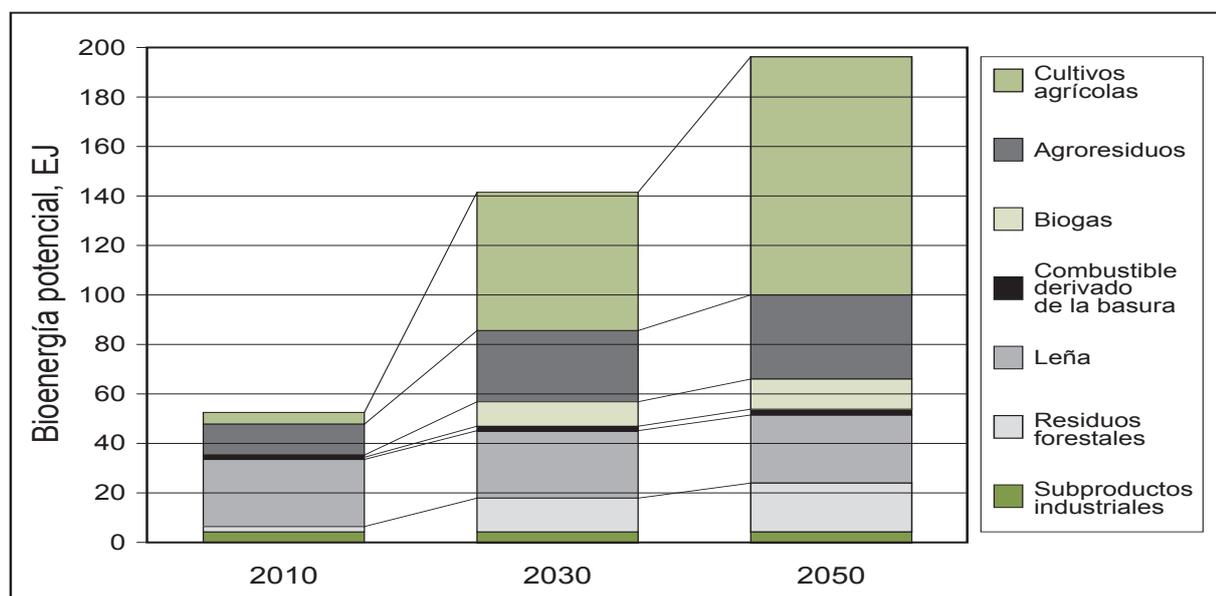
UPM es una de las compañías que investiga el uso de *talloil* como materia prima para biodiésel y que ha comercializado su propia tecnología de biocombustibles en los últimos años. La biorrefinería de UPM localizada junto a la planta de celulosa y papel en Kaukas ha producido diésel y nafta a partir de madera desde 2015. Existen también posibilidades de producir biocombustibles líquidos de aserrín o lignina. La compañía finlandesa St1 Biofuels está planificando una planta que produce etanol a partir del aserrín.

En Chile, el Consorcio Tecnológico Bioenercel, financiado por Innova Chile, busca desarrollar tecnologías para apoyar a la producción de biocombustibles de origen lignocelulósico.

Un marco regulatorio robusto es necesario para el desarrollo de una producción sostenible de biocombustibles líquidos y bioenergía. El desarrollo y la competitividad de soluciones de bioenergía están influenciados por decisiones de política y regulación. Las políticas aplicadas pueden crear incentivos para el uso de biomasa en la producción de energía pero también pueden frenar o posponer el desarrollo de proyectos. De acuerdo a lo señalado por varios expertos, las políticas diseñadas para la bioenergía deben ser neutras respecto a la tecnología para evitar impactos negativos en el mercado energético.

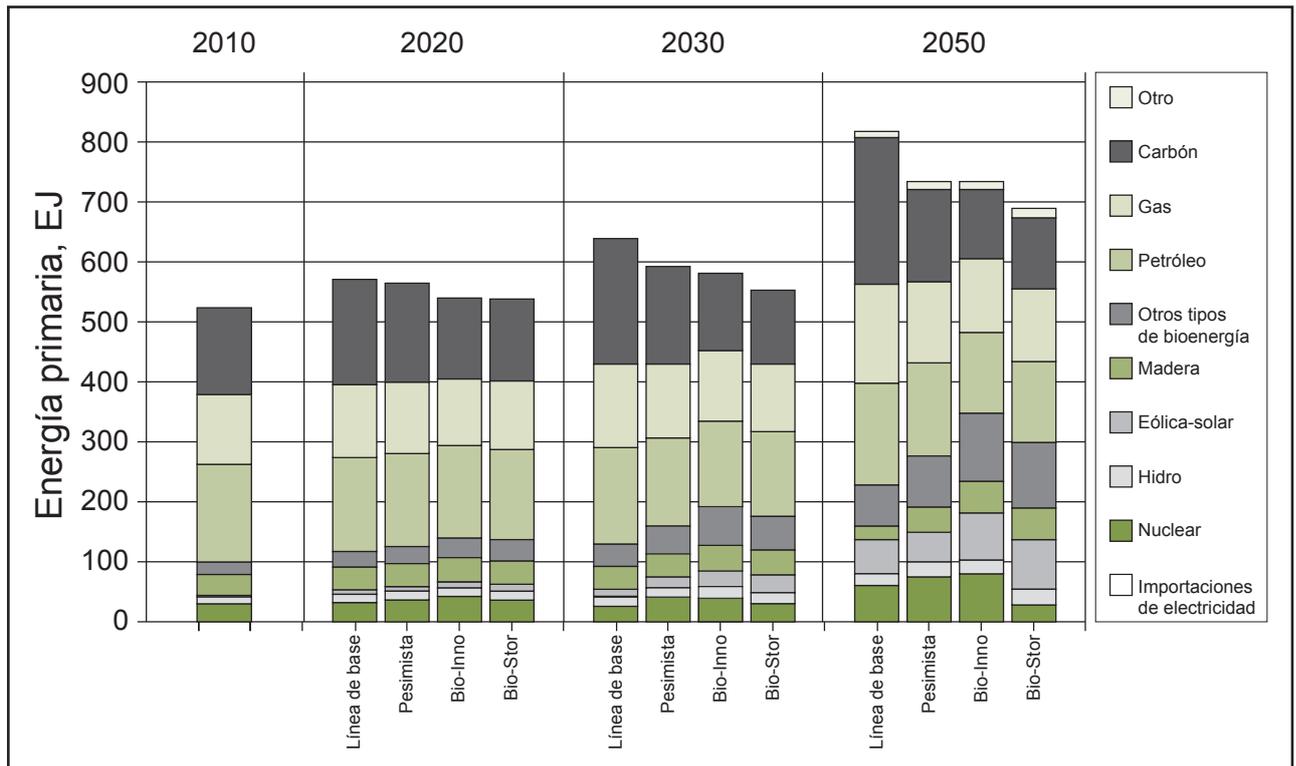
Según las estimaciones del modelo Global Forest Model, si bien se espera que la contribución de los productos de madera a la producción de bioenergía mundial sea positiva, esta sería menor a la que puede observarse por parte de los cultivos energéticos y otros residuos agrícolas, que constituirían el grueso del aumento de capacidad productiva de bioenergía.

**Gráfico 12. Producción mundial de bioenergía en horizonte de mediano y largo plazo**



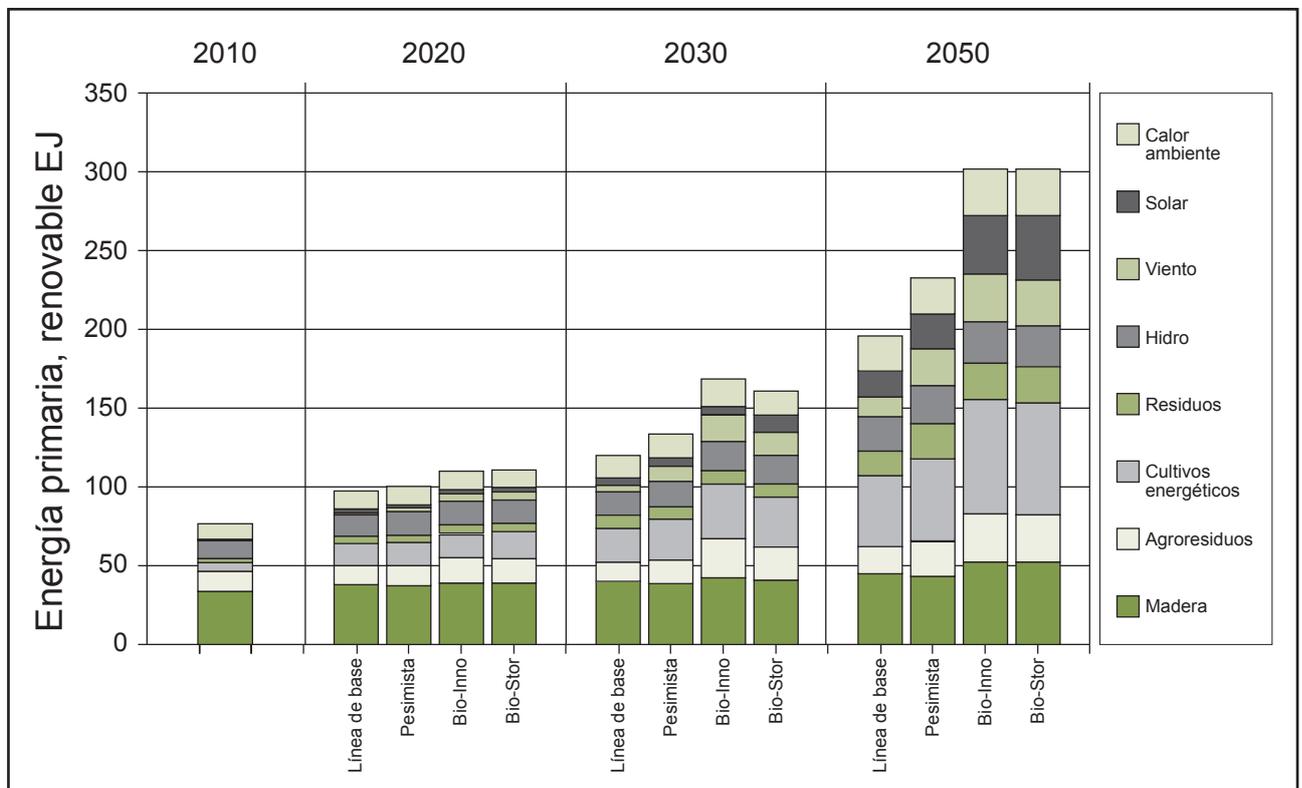
Fuente: Kalio et al. (2015).

**Gráfico 13. Origen primario de energía en diferentes escenarios de bioeconomía global**



Fuente: Kalio et al. (2015).

**Gráfico 14. Origen primario de energía renovable en diferentes escenarios de bioeconomía global**



Fuente: Kalio et al. (2015).



## IV. Hacia la identificación de brechas y necesidades de las ABF en Uruguay

Habiendo identificado junto a las diferentes instituciones y actores los aspectos críticos —*critical issues*— y de política —*policy issues*— en cada una de las áreas de bioeconomía forestal presentadas en los capítulos anteriores, se puso a consideración cómo estas dimensiones posicionaban a Uruguay con respecto a los países de referencia en el rubro forestal —Australia, Brasil, Canadá, Chile, Finlandia, Nueva Zelanda, Sudáfrica y Suecia—. Se identificaron las brechas y necesidades existentes en el país en los siguientes ámbitos:

- a. ambiental,
- b. tecnológico,
- c. económico y de infraestructura.

En esta publicación se presentan los resultados del análisis para los primeros dos ámbitos mencionados — ambiental y tecnológico— sabiendo que existen otras brechas de carácter más estructural que no son abordadas en este estudio. En efecto, existen brechas sociales, culturales, de acceso a recursos humanos calificados y a nivel normativo-regulatorio, que también limitan o impulsan el desarrollo del sector. Esto último es muy notorio en lo que respecta al desarrollo de la construcción de madera, por ejemplo, donde hay una carencia generalizada en cuanto a los requisitos de fabricación de EWP, códigos de cálculo y la existencia de limitaciones regulatorias nacionales y departamentales para fomentar la construcción basada en madera. El uso de madera aserrada y productos de ingeniería de madera en varios sistemas de construcción es bien conocido en países de Europa y Estados Unidos, entre otros, pero no en Uruguay. Países del hemisferio norte como Suecia, Finlandia, Noruega, Canadá o Austria son los que cuentan con mayor consumo per cápita

de madera aserrada, mientras que otros países de similar latitud a Uruguay, como Chile o Australia, tienen un consumo menor pero por encima del promedio mundial.<sup>69</sup>

La mayor brecha identificada es la subutilización local de los recursos forestales, dada la limitada gama de productos ofrecidos por el país. En términos de transformación química de la madera, el único proceso disponible a gran escala es la producción de pulpa kraft de fibra corta (y fábrica de papel de empaquetado y tisú pequeña), y en términos de transformación mecánica, se produce madera aserrada y tableros contrachapados.

La característica de oferta limitada de productos forestales parece estar asociada a cuatro grandes factores:

1. lo incipiente de la industria forestal, ya que es un sector relativamente joven (a partir de la última década del siglo XX);
2. el lento dinamismo de los mercados internacionales desde 2007;
3. ausencia de un mercado local y regional de productos de construcción de madera, y
4. una ubicación geográfica muy alejada de los centros que consumen productos de madera y, por lo tanto, sin contacto con el consumidor final; esto es especialmente sensible para productos dirigidos a nichos de mercado.

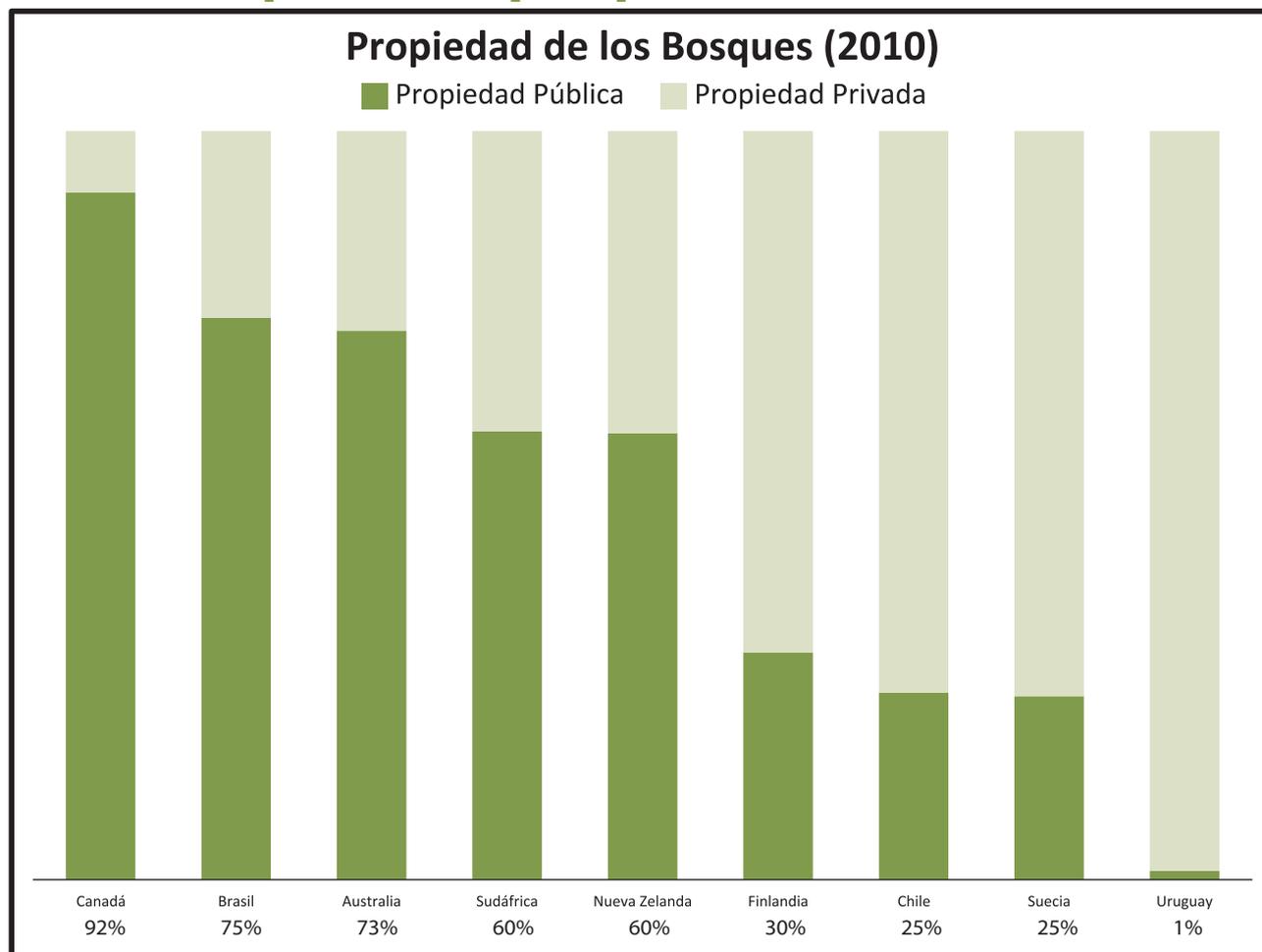
La región, y particularmente Uruguay, tienen un consumo de madera muy bajo. Potencialmente, existe la oportunidad de convertirse en un proveedor regional, y un potencial sin explotar para utilizar la madera como material de construcción en Uruguay.

69 Ver <https://www.forestindustries.se/forest-industry/statistics/sawmill-industry/>

Norteamérica y Latinoamérica son los principales destinos de los productos de madera aserrada, con el 60 % del valor total exportado; algo similar ocurre con las exportaciones de Brasil y Chile, por lo que ha de considerarse que los países vecinos también son competidores para este nicho de mercado.

A su vez, un importante condicionante para el sector es la característica de la propiedad de la biomasa forestal que influye en el desarrollo de las cadenas productivas.

**Gráfico 15. Propiedad de los bosques en países de referencia**



**Fuente: elaboración propia basada en FAOSTAT.**

Se pueden apreciar diferencias sustanciales entre los países, que van desde el 92 % de los bosques —tanto plantaciones como bosque nativo— de propiedad pública en el caso de Canadá hasta solo 1 %

para el caso de Uruguay. A continuación se resumen las brechas ambientales y tecnológicas identificadas vinculadas a los distintos procesos del sector.

## 1. Brechas ambientales

Las brechas ambientales refieren a las prácticas de manejo forestal y productivo que se llevan adelante en Uruguay con relación a los países de referencia. Mantener altos estándares de calidad es fundamental, no solo por garantizar la sustentabilidad sino también por la relevancia que viene cobrando el componente ambiental sobre los consumidores y el consecuente acceso a diversos mercados.

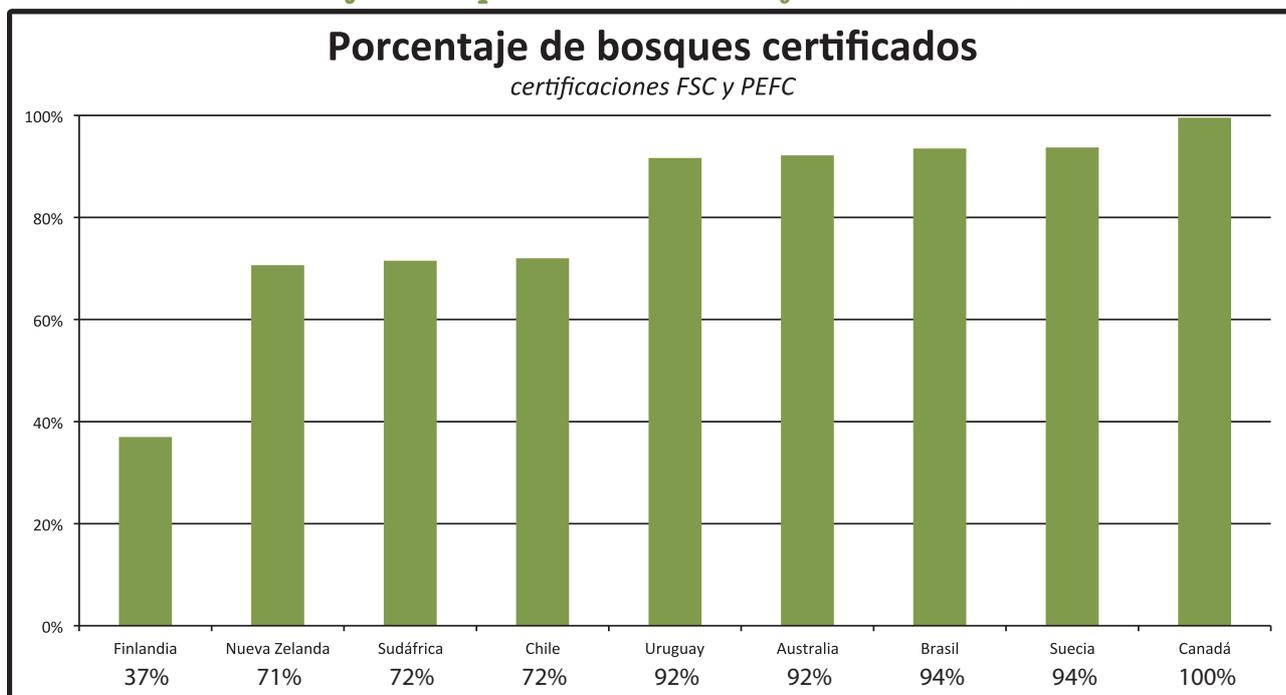
En este sentido, la normativa y regulación, tanto nacional como departamental, es sustancial para mantener niveles ambientales deseables a lo largo de la cadena productiva. En la fase industrial, el aspecto ambiental está muy condicionado por el componente tecnológico de los procesos productivos. En otras palabras, cuanto menor es la brecha tecnológica, menor suele ser la ambiental.

## Certificación de bosques

En lo que refiere a certificación de bosques, Uruguay se encuentra en una posición privilegiada, con 92 % de los bosques certificados, ya sea por el certificador *Forest Stewardship Council* (FSC) o el *Programme for the Endorsement of Forest Certification* (PEFC). La certificación es una herramienta de gestión forestal para un manejo adecuado y sustentable de los bosques. Para ello, las plantaciones deben cumplir una serie de requerimientos basados en estándares de calidad ambientales, sociales y económicos: que la madera no se obtenga de forma ilegal ni bajo violación de derechos civiles; que se verifique el cumplimiento de la normativa laboral aprobada por OIT; que los bosques no incluyan especies genéticamente modificadas; que las actividades forestales no se realicen en superficie que comprometa la seguridad alimenticia o desplace bosque nativo.

Esto no solo permite garantizar la sustentabilidad del proceso productivo, a lo largo de toda la cadena, sino también el acceso a numerosos mercados, ya que asegura al consumidor que el consumo de dichos productos forestales no está contribuyendo a la degradación de los bosques y simultáneamente fomenta el desarrollo de áreas de conservación.

Gráfico 16. Porcentaje de bosques certificados FSC y PEFC (año 2015)



Fuente: elaboración propia basada en FAOSTAT.

**Tabla 6. Relevamiento de prácticas de manejo forestal sustentable**

MANEJO FORESTAL SUSTENTABLE (2015)									
	Australia	Brasil	Canadá	Chile	Finlandia	Nueva Zelanda	Sudáfrica	Suecia	Uruguay
Políticas de apoyo a la gestión forestal sostenible a nivel nacional	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Políticas de apoyo a la gestión forestal sostenible a nivel regional	✓	✓	X	X	✓	✓	X	✓	✓
Políticas de apoyo a la gestión forestal sostenible a nivel local	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓
Legislación y regulaciones que apoyan el manejo forestal sostenible a nivel nacional	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Legislación y regulaciones que apoyan el manejo forestal sostenible a nivel regional	✓	✓	X	X	X	✓	X	X	✓
Legislación y regulaciones que apoyan el manejo forestal sostenible a nivel local	✓	✓	✓	X	X	✓	X	X	✓
Plataforma nacional de interesados	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
Consideración social / participación de la comunidad	✓	✓	✓	X	✓	X	✓	X	X
Porcentaje de bosque certificado	92%	94%	100%	72%	37%	71%	72%	94%	92%
Área forestal que monitorea el inventario forestal nacional	100%	100%	100%	73%	100%	100%	5%	100%	43%
Año más reciente del inventario forestal nacional que supervisa el área forestal	2011	2014	2013	2013	2012	2012	2002	2012	2012

**Fuente: elaboración propia basada en FAOSTAT.**

Salvo Finlandia, en la que la propiedad de la tierra está dividida entre numerosos pequeños propietarios —lo que dificulta el proceso de certificación— el resto de los países presentan niveles de certificación altos, que superan el 70 %.

A continuación se sintetizan una serie de medidas, relevadas por la base de datos estadística

de la FAO, FAOSTAT, que podrían resumir el nivel de manejo sustentable del sector forestal de Uruguay y los países de referencia. Como se puede ver, Uruguay cumple con la mayoría de los criterios establecidos por la institución, y el problema más latente es el bajo porcentaje de área forestada que monitorea el inventario forestal nacional.

## Tratamiento químico de productos de madera

Dado que el pino y el eucalipto presentan baja resistencia al exterior, deben estar protegidos para su uso en servicios expuestos a la intemperie. La impregnación de la madera con productos químicos, o protección química, permite aumentar significativamente la vida útil de estas especies de baja durabilidad natural, y es un medio para agregar valor a la madera. Dada las características de ambos géneros, la impregnación es efectiva en las especies de pino, mientras que no lo es para las de eucalipto, cuyo método de tratamiento preferente es el térmico.

En Uruguay, el producto más utilizado para la impregnación de la madera consiste en una solución acuosa de cromo, cobre y arsénico (CCA), que constituye una brecha ambiental en comparación con las prácticas de otros países.

La solución de impregnación CCA es altamente tóxica en la etapa de disposición final de la madera tratada y en el desperdicio del proceso de construcción (esquejes,<sup>70</sup> aserrín, polvo, etc.). Debido a la toxicidad de la madera tratada con CCA, existe una creciente tendencia global a restringir su uso.<sup>71</sup> En algunos países, como Suiza, Dinamarca, Vietnam, Japón e Indonesia, la CCA está prohibida, mientras que en otros territorios (Estados Unidos, Unión Europea, Canadá y Australia) se limita el uso a aquellos servicios donde la madera no estará en contacto con personas o animales, como postes en contacto con agua salada, postes de cercas, pilares de soporte de estructuras y cimientos, entre otros.<sup>72</sup>

En Uruguay no existen restricciones para el uso de madera tratada con CCA, y a pesar de que existen otras opciones comerciales alternativas al CCA, la oferta es limitada.

## 2. Brechas tecnológicas

Uruguay produce básicamente tres productos a gran escala, a partir de la transformación de la madera: pulpa de celulosa, madera aserrada y madera contrachapada. En este apartado se presentan las brechas tecnológicas relevadas en estos tres productos.

## Madera aserrada

En este subsector coexisten empresas medianas —en referencia mundial— con otras muy pequeñas. En general, la tecnología de las empresas líderes compite con el estado del arte del sector, sin embargo, las pequeñas tienen estructuras productivas divergentes, generalmente menos desarrolladas.

En otras palabras, el proceso de transformación mecánica de la madera está muy concentrado en unos pocos aserraderos que producen más de 50.000 metros cúbicos por año.<sup>73</sup> Estos utilizan tecnología moderna; mientras que los aserraderos pequeños, en cambio, cuentan con procesos productivos más rezagados, por lo que suelen tener inconvenientes para ser rentables.<sup>74</sup> La producción en metros cúbicos promedio de los aserraderos de los países de referencia, tales como Suecia, Canadá o Estados Unidos, en cambio, oscila entre los 400.000 y los 800.000 metros cúbicos.

Actualmente, la madera aserrada no está clasificada estructuralmente por los aserraderos. Por lo tanto, no hay productos estructurales disponibles en el mercado uruguayo. El primer estándar de clasificación visual del pino uruguayo fue publicado recientemente por UNIT (UNIT, 2018b) y el estándar de eucalipto está en desarrollo (UNIT, 2018a).

En efecto, los aserraderos locales se limitan a producir tablas secas y clasificadas para madera de embalaje y apariencia (tableros utilizados para productos de carpintería). La eficiencia de transformación de madera a tableros es aproximadamente del 50 %, y el subproducto se usa para producir energía térmica y electricidad.

## Pulpa de celulosa

Respecto a la producción de pulpa de celulosa, el sector se encuentra en la frontera tecnológica, con dos empresas extranjeras con fuerte presencia mundial y que producen bajo la tecnología kraft, que es la tecnología dominante y se espera que lo siga siendo al menos por las próximas tres décadas.

En síntesis, las brechas tecnológicas más evidentes se pueden resumir en:

70 Esquejes: fragmentos de las plantas separados con una finalidad reproductiva.

71 Wagenführ y Scholz, 2008; Ibáñez et al., 2009.

72 Forest Products Laboratory, 2010; Schreiber et al., 2007; JWPA, 2014.

73 Boscana y Boragno, 2017.

74 Dieste, 2014.

1. Ausencia de una red de proveedores locales calificados, tanto de productos como de servicios, que sustenten una oferta de productos diversa y un entorno industrial dinámico.

2. Escasa innovación tecnológica; en Uruguay, la industria de procesamiento de madera compra tecnología para fabricar productos básicos que han establecido mercados sujetos a fluctuaciones de precios.

3. Escaso suministro de productos fabricados localmente, lo que limita el desarrollo de la industria.

4. Alto costo de productos químicos en comparación con otros países competidores. Los productos químicos se importan y no existe desarrollo local de productos químicos con materias primas locales.

5. Déficit de alternativas de transporte para transferir la producción a los puertos. La madera y sus productos, voluminosos y baratos, se transportan principalmente en camión, un transporte muy costoso para lo que suponen los productos forestales.

6. Escasa integración entre las cadenas de producción existentes, fundamentalmente entre la industria celulósica y la de transformación mecánica.

7. Escasa investigación nacional, y consecuentemente una limitada información sistematizada sobre las propiedades de la materia prima local y sus posibilidades tecnológicas.

## Manejo forestal

A diferencia de lo ocurrido en otros países, en Uruguay el aumento de superficie de bosque con destino industrial no se dio a expensas de bosques naturales sino que ambas superficies fueron creciendo simultáneamente. El caso de incremento de plantaciones en Rusia o Indonesia, por nombrar algunos ejemplos, puede ser vinculado en cierta medida al desplazamiento de bosque natural.

De forma similar a lo que ocurre en otros países de la región y de similar latitud, los bosques con destino industrial de Uruguay se dividen en dos especies: el eucalipto y el pino, siendo el primero el de mayor preeminencia tanto en hectáreas plantadas como extracción anual.

Algunas tendencias recientes muestran la aparente disminución de nuevas plantaciones de pino<sup>75</sup> y por lo tanto un mayor peso de las plantaciones con destino pulpero. Aunque esto puede llegar a implicar una pérdida de diversidad, cualquier análisis en este sentido debe considerar las distintas especies y subespecies presentes en Uruguay, ya que estas presentan características propias en cuanto a su uso final y resistencia a fenómenos climatológicos o plagas.

En el caso de Brasil, aproximadamente el 75 % de las plantaciones totales son de eucalipto, el 20 % de pino y el 5 % de otra especie.<sup>76</sup> La superficie dedicada a la plantación de eucaliptos ha crecido 2,8 % entre 2006 y 2013, en detrimento de las plantaciones de pino, situadas principalmente en los estados del sur. Chile ha visto recientemente como la nueva superficie forestada disminuye a valores mínimos en décadas, mientras que el grueso de la renovación biomásica responde a la reforestación. Más de la mitad de las plantaciones recientes realizadas son de *Pinus taeda*, mientras que cerca de 30 % responden a varias especies de eucaliptos.<sup>77</sup>

La rotación de eucaliptos es cercana a los diez años en Uruguay, ligeramente por debajo de los doce años reportados para Chile y algo mayor a lo que ocurre en Brasil.

En el caso de Australia, el sector forestal se ha ido moviendo desde plantaciones nativas de eucaliptos y otros géneros a un mayor peso de las plantaciones, manteniendo proporciones similares de cosecha de coníferas y no coníferas.<sup>78</sup> Nueva Zelanda, por su parte, concentra el grueso de sus plantaciones en *Pinus taeda*.

75 Boscana y Boragno, 2018b.

76 Datos en: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/3230-boletim-snif-2017-ed1-final/file>

77 Datos en: [http://www.conaf.cl/wp-content/files\\_mf/1510585779Informe\\_plantaciones\\_2016.pdf](http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1510585779Informe_plantaciones_2016.pdf)

78 [http://data.daff.gov.au/data/warehouse/9aaf/afwpsd9abfe/afwpsd9abfe20180524/AFWPSOverview\\_Sep-Dec\\_2017\\_v1.0.0.pdf](http://data.daff.gov.au/data/warehouse/9aaf/afwpsd9abfe/afwpsd9abfe20180524/AFWPSOverview_Sep-Dec_2017_v1.0.0.pdf)

En los países nórdicos, principalmente Suecia y Finlandia, es más usual que el sector se desarrolle en torno al cultivo de coníferas, dada su tradición y sus condiciones geográficas, especialmente diversas especies de pino.

Otros países con larga tradición en el sector forestal son Canadá, Estados Unidos, Sudáfrica o Alemania, más recientemente se ha verificado un importante crecimiento del sector en Rusia.

Se pueden identificar tres grandes esquemas de distribución de la superficie forestal en los países tomados de referencia, uno de alta integración vertical, donde las principales firmas responsables por la transformación posterior de la materia prima son o bien dueñas o arrendatarias de grandes partes de la superficie forestal de fin industrial del país, como Chile, Brasil, Estados Unidos y el propio Uruguay; uno en el que una mayor cantidad de propietarios privados o fondos de inversión se reparten la tierra, como ocurre en Nueva Zelanda, Suecia o Finlandia, y finalmente uno en que las plantaciones son propiedad estatal, estableciéndose acuerdos de largo plazo para el manejo y utilización de las plantaciones, como ocurre en regiones de Canadá.

En cualquier caso, se identifica que el grado de integración vertical es mayor en la industria de transformación mecánica que en la celulósica, posiblemente debido a que la primera tenga una demanda de madera que debe ajustarse más estrictamente a parámetros de volumen y calidad.

Algunas empresas surgen como importantes jugadores en la etapa de silvicultura en los países de nuestra región. CMPC, empresa chilena dueña de IPUSA, posee alrededor de 700.000 hectáreas de plantaciones en Chile, Brasil y Argentina.<sup>79</sup> Suzano, por su parte, posee en torno a 630.000 hectáreas de plantaciones en Brasil. Arauco, en tanto, reporta un millón de hectáreas de plantaciones propias en Chile, Brasil, Argentina y Uruguay, considerando el 50 % de las hectáreas de plantaciones que corresponden a Montes del Plata. La empresa estima que el 63 % de sus bosques son aptos para producir madera *clear*.<sup>80</sup> Klabin posee 450.000 hectáreas de bosque en Brasil, entre plantaciones de pino y eucalipto.

Las soluciones de transporte de madera son un componente fundamental del sector, no solo por su determinación rentabilidad sino también por su contribución a los gases de efecto invernadero. Además de suponer un costo menor, bajo la infraestructura adecuada, el transporte marítimo o ferroviario, además de descongestionar las rutas, puede reducir significativamente las toneladas de dióxido de carbono por unidad de producción frente a la alternativa de transporte carretero.

A su vez, la menor distancia entre la producción industrial y las plantaciones es también un factor viabilizador. En la región, Uruguay cuenta con distancias promedio relativamente altas, en torno a 200 kilómetros para el sector celulósico, que responden sin duda a la necesidad de balancear la distancia entre la planta y las plantaciones con la facilidad de transporte de los productos finales hacia los mercados externos, y por lo tanto el beneficio de instalarse en locaciones costeras.

Fibra reporta una distancia promedio de alrededor de 250-200 km en sus operaciones en Brasil 2017, mientras que en el caso de Klabin este valor ronda los 70 km. Para sus operaciones en Chile y Argentina, Arauco estima su distancia promedio a los bosques en 85 km. En el caso de las operaciones de West Fraser, en Estados Unidos y Canadá, las plantaciones se encuentran en promedio a 110 km de sus plantas.

Algunos desarrollos recientes en el sector forestal se vinculan a la posibilidad de utilizar cultivos genéticamente modificados. Como ocurre en la actividad agrícola, esta posibilidad ha generado polémica por sus aspectos éticos, de seguridad biológica y biodiversidad.

Una especie de eucalipto desarrollada por FuturaGene, denominada H421, permitiría aumentar la productividad en 20 %. Dicha variedad ha sido aprobada por el comité de seguridad biotecnológica de Brasil, pero su aceptación en los mercados mundiales es menos clara. Además de potenciales mejoras de productividad, la modificación genética puede tener por finalidad desarrollar una mayor resistencia a plagas o condiciones climatológicas.

FSC Brasil estima que la demanda de madera y celulosa se triplicará hasta 2050 y que en tal sentido la discusión en torno a la posibilidad de contar con especies genéticamente modificadas es necesaria.<sup>81</sup>

79 Reporte anual 2017 CMPC.

80 Madera *clear*: madera libre de nudos.

81 Información web de FuturaGene.



---

## V. Conclusiones y próximos pasos

El sector forestal viene tomando cada vez más relevancia a nivel mundial, no solo por las infinitas posibilidades productivas que presenta sino también por el rol social y ambiental que representa, evidenciado tras el acuerdo sobre cambio climático celebrado en París en 2015.

Así, se estima que en las próximas décadas las plantaciones y el consumo global de madera aumentarán debido a dos grandes factores:

a. como parte del fenómeno creciente de sustitución de la matriz petroquímica, para producir plásticos y energía por una matriz biológica; la madera representa una alternativa tecnológica viable para lograr este objetivo;

b. la construcción en madera está creciendo globalmente, como resultado de las políticas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el crecimiento poblacional y la cada vez mayor rentabilidad —productividad— que presenta frente a la construcción tradicional; las propias cualidades estructurales y estéticas de la madera contribuyen a reforzar esta tendencia.

Esto se presenta como una gran oportunidad para el desarrollo forestal, no solo de Uruguay sino de la región, en la que han ido ganando espacio distintos emprendimientos industriales que ofrecen productos de madera que hasta hace poco estaban limitados a Norteamérica y Europa. Así, identificar oportunidades para impulsar el desarrollo de la industria de la madera, con cadenas de valor integradas, es clave para fomentar el potencial económico del sector.

En este contexto, Uruguay se ha ido haciendo un nombre en el mundo forestal, introducir un producto de madera con la marca país *Uruguay* es significativamente más sencillo que hace dos décadas. Esto es fundamental para el crecimiento y la transformación del sector a nivel nacional ya

que, debido al tamaño del mercado uruguayo, una gran parte de los bienes producidos por la industria de la madera son necesariamente para fines de exportación.

Las proyecciones muestran que hay una gran disponibilidad de madera hasta el 2030. Ahora bien, hay que seguir con atención la variedad de la biomasa, teniendo en cuenta que la disminución de la plantación de pino en los últimos años no comprometa su oferta en el futuro.

Por otro lado, es fundamental poner foco en los mecanismos de abastecimiento, infraestructura y servicios conexos para mejorar la competitividad del sector, teniendo en cuenta que los costos logísticos —silvicultura y transporte interno— de la madera puesta en planta pueden alcanzar hasta dos tercios del precio final.

Dentro de los segmentos con mayores posibilidades de desarrollo, la construcción en madera se muestra como el de potencial más inmediato, dada la tecnología disponible y las inversiones necesarias. Para ello es necesario desarrollar un mercado local y regional para el EWP, ya que estos productos requieren de la proximidad del usuario final. Esto supone un desafío cultural en el comportamiento de los consumidores, acostumbrados a la construcción tradicional.

También es imperante la certificación la madera estructural a través de normativas estandarizadas, camino que el país ya está emprendiendo. Ya se ha demostrado que las maderas uruguayas tienen aptitud estructural para distintos usos en la construcción. Esto no solo permite legitimar y garantizar la calidad de la madera sino también el acceso a distintos mercados.

Por otra parte, la celulosa de fibra corta parecería mostrar cierta estabilidad tecnológica y comercial. La pulpa blanqueada mantendría un mercado estable en el mediano plazo, a pesar de su precio decreciente, mientras que el método kraft para su procesamiento, bajo el que operan las plantas presentes en Uruguay, se ve como la tecnología dominante para las próximas décadas.

---

Organizativamente, se denota una reconfiguración del mercado celulósico. Del lado de la oferta, la apertura de nuevas plantas de celulosa en el hemisferio sur y la reconversión de plantas pequeñas en el hemisferio norte hacia la producción de biomateriales basados en fibra. Del lado de la demanda, un crecimiento sostenido del consumo de papel tisú y para empaquetado explicado por la demanda emergente del mercado asiático, en detrimento del papel de impresión y escritura.

Asimismo, la sustitución del plástico petroquímico, impulsada por problemas ambientales y cambios en el comportamiento del consumidor, se presenta como una clara oportunidad para que la industria de la celulosa evolucione hacia la producción de envases, empaquetados y textiles.

Los productos (bio) químicos a partir de madera también muestran un alto potencial, pero en el mediano plazo, ya que su rentabilidad no es pronto previsible. Se trata de nuevos y diferentes usos a partir del procesamiento de celulosa, lignina y hemicelulosas, de los que se puede obtener, entre otras cosas, bioplásticos, biopolímeros, productos farmacéuticos y otros bioquímicos con grandes proyecciones de mercado.

En tanto la mayor parte de estas actividades es realizada en las casas matrices de las grandes empresas, es necesario el desarrollo de las capacidades locales en educación e I+D. Estos segmentos no necesariamente requieren de grandes escalas y se pueden integrar a plantas de celulosa ya en funcionamiento, por lo que abre una ventana de posibilidades dentro de las capacidades ya instaladas.

Por último, respecto a la bioenergía, se toma como un viabilizador de proyectos al aprovechar y valorizar los residuos que genera el sector, pero no como su gran tractor. La generación de energía eléctrica a partir de biomasa forestal parecería no tener mayor espacio, dado el éxito de la política energética para la promoción de energía eólica y solar, a menores costos que los que puede producir el sector forestal. Sí parecen presentarse oportunidades en cuanto a los combustibles sólidos —pellets, briquetas y otras— dada la tecnología disponible, el consumo creciente del mercado europeo y las proyecciones futuras de la demanda doméstica.

El otro segmento de la bioenergía a partir de madera es el de los biocombustibles, donde las oportunidades parecen centradas en torno al combustible de aviación y marítimo, en línea con regulación activa a nivel mundial para aumentar el contenido de origen renovable de estos sectores tan contaminantes. Sin embargo, aún no hay desarrollos rentables.

A partir de estos insumos, otros en avance y un taller final con diversos actores relacionados con el sector, se está construyendo participativamente una hoja de ruta estratégica, que busca identificar estrategias y acciones críticas para alcanzar las oportunidades que se presentaron.

A partir de allí, se propone trabajar con los ministerios, instituciones y actores relevantes para favorecer la implementación de proyectos e iniciativas que surjan de la hoja de ruta estratégica; y junto al Ministerio de Industria y la Secretaría de Transformación Productiva —Transforma Uruguay— para vincular oportunidades y acciones de largo plazo con proyectos de corto plazo.

---

# Bibliografía

- ADME (2017). *Administración de mercado eléctrico*, adme.com.uy.
- ARASTO, A., T. KOLJONEN y L. SIMILÄ, (2018). *Growth by integrating bioeconomy and low-carbon economy. Scenarios for Finland until 2050* (No. VTT Vision 13), VTT, Helsinki.
- Balmelli, G., Resquin, F., 2005. Evaluación productiva de orígenes de *Eucalyptus globulus* en zonas litoral y norte. Ser. Téc. INIA 149, 1–19.
- BAÑO, V., D. GODOY y A. VEGA (2016). *Experimental and numerical evaluation of cross-laminated timber (CLT) panels produced with pine timber from thinnings in Uruguay*, en: WCTE 2016 – World Conference on Timber Engineering.
- BAÑO, V., L. MOYA, H. O'NEILL, A. CARDOSO, M. CAGNO, G. CETRANGOLO y L. DOMENECH (2016). *Documentos técnicos base para la normalización de estructuras y construcción con madera*, Montevideo.
- BAÑO, V., D. GODOY, D. FIGUEREDO y A. VEGA (2018). *Structural Performance of CLT panels in Bending Made from Loblolly/Slash Pine of Low Mechanical Properties*, sin publicar.
- BAÑO, V. y L. MOYA (2018). *Productos de ingeniería de la madera*, Resultados no publicados, Facultad de Ingeniería – Universidad de la República, Montevideo.
- BARRAGÁN, J., L. CANTERA, I. DI PASCUA y L. LÓPEZ, (2016). *Tratamiento térmico de madera*, Proyecto de grado, Universidad de la República, Montevideo.
- BI, P., J. WANG, Y. ZHANG, P. JIANG, X. WU, J. LIU, H. XUE, T. WANG y Q. LI (2015). From lignin to cycloparaffins and aromatics: directional synthesis of jet and diesel fuel range biofuels using biomass, *Bioresource technology*, 183, 10–17.
- BOSCANO, M. y L. BORAGNO (2017). *Encuesta de aserraderos. Año 2017*. Dirección General Forestal – Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Montevideo, Uruguay. [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/informe\\_final\\_encuesta\\_aderraderos.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/informe_final_encuesta_aderraderos.pdf).— (2018a). *Estadísticas forestales 2018*. Dirección General Forestal – Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Montevideo, Uruguay.
- — (2018b). *Encuesta de viveros forestales. Año 2017*. Dirección General Forestal – Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Montevideo, Uruguay. [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/inf\\_final\\_censo\\_de\\_viveros\\_0.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/inf_final_censo_de_viveros_0.pdf)
- BÖTHIG, S., A. SÁNCHEZ y J. DOLDÁN (2008). «Durabilidad natural de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden de plantaciones de rápido crecimiento». *INNOTEC* 3, 1–16.
- Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G., Thiel, A., 2016. Cross laminated timber (CLT): overview and development. *Eur. J. Wood Wood Prod.* 74, 331–351. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0999-5>
- CEN (2016a). *Madera estructural. Clases resistentes* (No. EN 338). European Committee for Standardization, Brussels.

- — (2016b). *Eurocode 5. Design of timber structures*.
- CPA FERRERE (2017). *Contribución de la cadena forestal a la economía uruguaya*.
- Christopher, L. P. (2012). Integrated forest biorefineries: current state and development potential. *Integrated Forest Biorefineries: Challenges and Opportunities*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, 1–66.
- DANGEL, U. (2016). *Turning point in timber construction*, Birkhäuser, Basel.
- DEUTSCHE WELLE (2017). Entrevista a Gonzalo Casaravilla, director de UTE, disponible en <http://marcapaisuruguay.gub.uy/uruguay-energia-natural/>
- Diesen, M. 2007. *Economics of the Pulp and Paper Industry*. 2nd ed. Vol. 1. Finland: Finnish Paper Engineers' Association.
- DIESTE, A. (2012). «Programa de promoción de exportaciones de productos de madera» 1. Montevideo. <http://www.miem.gub.uy/consejos-sectoriales/madera/publicaciones>, Dirección Nacional de Industrias – Ministerio de Industria, Energía y Minería. <http://www.miem.gub.uy/consejos-sectoriales/madera/publicaciones>.
- — (2014). «Mitigación del impacto ambiental de madera tratada químicamente» 4. Montevideo. Dirección Nacional de Industrias – Ministerio de Industria, Energía y Minería.
- —, V. BAÑO, M. N. CABRERA, L. CLAVIJO, V. PALOMBO, G. MOLTINI y F. CASSELLA (2018). «Strategic products from a technological point of view», Facultad de Ingeniería – Universidad de la República.
- Doldán, J., 2006. Evaluación de parámetros de calidad de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii* de plantaciones de uruguayas para pulpa de celulosa
- DOMENECH, L., V. BAÑO, H. O'NEILL y L. MOYA (2017). «Informes técnicos de normalización de madera estructural. N 1. Madera aserrada de *Pinus elliotii*/taeda». Montevideo, Uruguay.
- FAO, (2018). FAOSTAT <http://www.fao.org/forestry/statistics/84922/en/>
- Farinha e Silva, C.A., J. Mendes Bueno, and Manoel Rodrigues Neves. 2017. “A Indústria de Celulose E Papel No Brasil.” *Guía ABTCP Fornecedores & Fabricantes Celulose E Papel 2016 2017*, 2017.
- Fortune, A.L., Quenneville, P., 2011. A feasibility study of New Zealand Radiata Pine crosslam, in: 1st Australian Conference on the Mechanics of Structures and Materials. © 2011 Taylor & Francis Group, London., pp. 1–2.
- Garcia de Soria, Ximena, Carmen Villasante, and Claudia Cabrera. 2008. “Proyecto de 10 MW Generación de Electricidad a Partir de Residuos Y/O Subproductos de Biomasa.” Montevideo: Ministerio de Industria, Energía y Minería. <http://www.miem.gub.uy>.
- Gellerstedt, G., P. Tomani, P. Axegard, and B. Backlund. 2013. “Lignin Recovery and Lignin-Based Products.” In *Integrated Forest Biorefineries – Challenges and Opportunities*, 180–210. Cambridge: RSC Publishing.
- Gerard, R., Barber, D., 2013. Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings. Arup N. Am. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8142-3>
- GODOY, D. (2018). *CLT en Uruguay* – Facultad de Ingeniería – Universidad de la República.
- — (2018). *Paneles contralaminados con madera de bajas propiedades mecánicas (Cross laminated timber from low-mechanical properties timber)*, Universidad del Bío-Bío (Chile) y Facultad de Ingeniería, Universidad de la República (Uruguay).

- HARLIN, A., S. GRÖNQVIST, V. JÄRNEFELT, A. JÄÄSKELÄINEN, H. KIISKINEN, H. ORELMA, S. PAUNONEN, J. ROPPONEN, D. SANDQUIST, T. TAMMELIN (2018). «Cellulosa goes digital. VTT's vision of digital cellulosa-based industries» (No. VTT Visions 14), VTT, Helsinki.
- Hemström, K., Mahapatra, K., & Gustavsson, L. (2011). Perceptions, attitudes and interest of Swedish architects towards the use of wood frames in multi-storey buildings. *Resources, conservation and recycling*, 55(11), 1013–1021.
- Johnson, M. A., & Hart, P. W. (2016). Integrating a biorefinery into an operating kraft mill. *BioResources*, 11(4), 10677–10710
- Kallio, Lehtilä, Koljonen, Solberg (2015) Best scenarios for the forest and energy sectors – implications for the biomass market. Cleen Oy Research report no D 1.2.1.
- KLABIN (2017). Reporte anual 2017.
- Kouisni, Lamfeddal, P. Holt-Hindle, K. Maki, and Michael Paleologou. 2012. “The LignoForce system™: A New Process for the Production of High-Quality Lignin from Black Liquor.” *Journal of Science & Technology for Forest Products and Processes* 2 (4):6–10.
- LIITIÄ, T. y T. TAMMINEN. (2016). «Value from Lignin – Promises, Challenges and Breakthroughs», seminario web, Finlandia.
- LUNDMARK, R., N. FORSELL, S. LEDUC, J. LUNDGREN, I. OURAICH, K. PETTERSSON y E. WETTERLUND (2018). *Large-scale implementation of biorefineries: New value chains, products and efficient biomass feedstock utilisation*.
- METSÄ (2017). Reporte anual 2017.
- MOYA, L. (2017). «Reporte final de proyecto FSA\_1\_2013\_1\_12897: Estudio de las propiedades estructurales de vigas de madera laminada encolada de Eucalyptus grandis producida en Uruguay para su asignación a clases resistentes», *Innovagro* 2013–ANII.
- MOYA, L., F. LAGUARDA, M. CAGNO, A. CARDOSO, F. GATTO y H. O'NEILL (2013). «Physical and Mechanical Properties of Loblolly Pine and Slash Pine Wood from Uruguayan Plantations», *Forest products journal* 63 (n.ºs 3–4):128–37.
- MOYA, L., A. Cardoso, M. Cagno y H. O'Neill (2015). «Structural characterization of pine lumber from Uruguay», *Maderas: ciencia y tecnología*, 17(3), pp. 597–612.
- MOYA, L., L. DOMENECH, A. CARDOSO, H. O'NEILL y V. BAÑO (2017). «Proposal of visual strength grading rules for Uruguayan pine timber», *European Journal of Wood and Wood Products*, v. 75.
- Pérez-Gomar C., Baño V., S.A. and M.L., 2018. Madera laminada encolada estructural de Eucalyptus grandis: Requisitos de fabricación en Uruguay, en: I Encuentro de Jóvenes Investigadores En Ciencia de Materiales. Montevideo, Uruguay.
- Pizzi, A., 2016. Wood products and green chemistry. *Ann. For. Sci.* 73, 185–203.
- Ramage, Michel et al. (2017) The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 333–359.
- RAUTE (2017). Reporte anual 2017
- Resquin, F., Mello, D., Fari, I., Mieres, J., 2005. Caracterización de la celulosas de especies del género eucalyptus plantadas en Uruguay Ser. Téc. INIA 152, 82.

- ROU-UPM (2017). «Contrato ROU-UPM», República Oriental del Uruguay – Presidencia, 17 de noviembre de 2017, <https://medios.presidencia.gub.uy>.
- Schaefer, K. 2016. “Outlook for the World Paper Grade Pulp Market.” presented at the RISI Latin American Conference 2016, Sao Paulo. <https://events.risiinfo.com>.
- Schmidt, R.J., Griffin, C.T., 2013. Barriers to the design and use of cross-laminated timber structures in high-rise multi-family housing in the United States. *Struct. Archit.* – New Concepts Appl. Chall. 2225–2231. <https://doi.org/doi:10.1201/b15267-304>
- SIKORA, K. S., D. O. MCPOLIN y A. M. HARTE (2016). «Effects of the thickness of cross-laminated timber (CLT) panels made from Irish Sitka spruce on mechanical performance in bending and shear», *Construction and Building Materials*, 116, 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.145>.
- SUN, R., X. F. SUN y J. TOMKINSON (2004). «Hemicelluloses and Their Derivatives», en *Hemicelluloses: Science and Technology*, 2–22. ACS Symposium Series 864.
- SVEASKOG (2017). Reporte anual 2017
- UNIT (2018a). «PU UNIT 1262. Madera aserrada de uso estructural. Clasificación visual. Madera de eucalipto (*Eucalyptus grandis*)», UNIT, Montevideo, Uruguay.
- — (2018b). «UNIT 1263. Madera aserrada de uso estructural. Clasificación visual. Madera de pino *elliottii/taeda* (*Pinus elliottii/taeda*)», UNIT, Montevideo, Uruguay.
- URUGUAY XXI (2017). *Primer informe de la línea de base del sector forestal-madera uruguayo. Pre-diagnóstico y tendencias*, Uruguay XXI, Montevideo.
- Vega A., Baño V., Pérez-Gomar C., Cardoso A., Godoy D., O.H. and M.L., 2017. Evaluación de la resistencia de uniones dentadas finger-joint con madera de eucalipto *grandis* de procedencia uruguaya en: *Proceedings of CLEM+CIMAD2017*. Junín, Buenos Aires, Argentina.
- Wagenführ, A., Scholz, F., 2008. *Taschenbuch der Holztechnik*. Hanser, Munich.
- WEST FRASER (2017). Reporte anual 2017.
- WPA (2012). «Use of CCA-Trated Timber. A Wood Protection Association Guidance Note», Reino Unido: Wood Protection Association. [www.wood-protection.org/](http://www.wood-protection.org/).
- XIONG, H., L. OUYANG y Y. WU (2016). «State-of-the-Art Research of Tall Wood Buildings», *Journal of Tongji University* 44–9:1297–1306.







Dirección de Planificación  
Oficina de Planeamiento y Presupuesto

---

Torre Ejecutiva - Pza. Independencia 710 - Piso 6  
Tel. (+598 2) 150 3560 - [planificacion@opp.gub.uy](mailto:planificacion@opp.gub.uy)  
Montevideo - Uruguay

[opp.gub.uy](http://opp.gub.uy) - noviembre 2018