



PANORAMA DE LA INDUSTRIA DE CELULOSA Y PAPEL Y MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS 2016

Editado por: María Cristina Area
Song Won Park

Título:

Panorama de la Industria de Celulosa y Papel y Materiales Lignocelulósicos 2016

Editores:

María Cristina Area y Song Won Park

1ª edição, 100 ejemplares, São Paulo, 2017

Capa e projeto gráfico:

Fmais Comunicação e Marketing

Panorama de la industria de celulosa y papel y materiales lignocelulósicos 2016 / María Cristina Area ... [et al.] ; editado por María Cristina Area ; Song Won Park ; prólogo de José Luis Montalvo Garcés. - 1a ed. - Posadas : Universidad Nacional de Misiones, 2016.

460 p. ; 21 x 15 cm.

Libro impreso hardcopy

ISBN 978-950-766-118-1

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-766-119-8

1. Celulosa. 2. Papel. 3. Industria del Papel. I. Area, María Cristina II. Area, María Cristina, ed. III. Park, Song Won, ed. IV. Montalvo Garcés, José Luis, prolog. CDD 676.04

[2017]

Todos os direitos desta edição reservados à María Cristina Area y Song Won Park

SUMARIO

Presentación	
<i>María Cristina AREA y Song Won PARK</i>	6
Prologo	
<i>José Luis MONTALVO Garcés</i>	9
Capítulo 1. RIADICYP: Red Iberoamericana de Celulosa y Papel	
<i>María Cristina AREA, Juan Carlos VILLAR Gutiérrez , Song Won PARK y Paulo Jorge Tavares FERREIRA</i>	10
Capítulo 2. PROVALOR: Red Productos de valor agregado a partir de residuos agro y forestoindustriales	
<i>Song Won PARK, Juan Carlos VILLAR Gutiérrez y María Cristina AREA</i>	18
Capítulo 3. Gestión del recurso forestal para una forestoindustria sostenible	
<i>Laura Gabriela COVINICH y María Cristina AREA</i>	22
Capítulo 4. Celulosa bacteriana	
<i>Sara María SANTOS de Dios, José María CARBAJO García y Juan Carlos VILLAR Gutiérrez</i>	46
Capítulo 5. Enzimas lignocelulolíticas: producción, usos y perspectivas	
<i>Alejandro TÉLLEZ Jurado, Ainhoa ARANA Cuenca, Miguel Angel ANDUCHO Reyes y Yuridia MERCADO Flores</i>	64
Capítulo 6. Perspectivas à implementação de projetos de biorrefinaria baseadas no uso de materiais lignocelulósicos	
<i>Luiz Pereira RAMOS, Marcos Henrique Luciano SILVEIRA, Luana Marcele CHIARELLO, Gustavo Rodrigues GOMES e Claudiney Soares CORDEIRO</i>	84
Capítulo 7. Bio-productos y bio-materiales a partir de la biorrefinería de residuos agro y forestoindustriales	
<i>María Cristina AREA y María Evangelina VALLEJOS</i>	120
Capítulo 8. Nano y biotecnología en el sector del reciclado del papel: avanzando hacia una economía circular	
<i>Marc DELGADO-AGUILAR, Joaquim Agusti TARRÉS Farres, Israel GONZÁLEZ Tovar, María Àngels PÈLACH Serra, Pere FULLANA i Palmer, Pere MUTJÉ Pujol</i>	152
Capítulo 9. Innovación en la industria de pulpa y papel en los Estados Unidos: lecciones para Brasil	
<i>Hannes TOIVANEN</i>	180
Capítulo 10. La evolución de la industria de pulpa y papel en Sudamérica: enfoque en Brasil, Chile y Uruguay	
<i>Maria Barbosa LIMA-TOIVANEN</i>	190

Capítulo 11. Da não-imitação à inovação e à performance competitiva: algumas evidências da indústria brasileira de celulose e papel	
<i>Paulo Negreiros FIGUEIREDO</i>	224
Capítulo 12. Situación actual de los productos celulósicos y su utilización en Argentina	
<i>Liliana Beatriz MOLINA Tirado, Gustavo Daniel GIL</i>	252
Capítulo 13. Uma visão do futuro da indústria brasileira de celulose	
<i>Adriano Pinto MARIANO</i>	268
Capítulo 14. Nanotecnología para a economia verde: LCNANO - UFPR SisNANO	
<i>Graciela Ines Bolzon de MUÑIZ</i>	284
Capítulo 15. El potencial de la biomassa forestal como fuente no tradicional energética para Chile	
<i>Javier GONZÁLEZ MOLINA</i>	296
Capítulo 16. Panorama de la industria celulósica papelera en Argentina	
<i>Mirtha Graciela MAXIMINO y Juan Carlos FORMENTO</i>	318
Capítulo 17. A indústria de celulose e papel no Brasil	
<i>Carlos Alberto FARINHA e SILVA, Jefferson Mendes BUENO y Manoel Rodrigues NEVES</i>	337
Capítulo 18. La Industria de pulpa y papel en Chile	
<i>Javier GONZÁLEZ MOLINA</i>	369
Capítulo 19. Panorama de la industria papelera en Colombia	
<i>Germán Camilo QUINTANA Marín y Jorge Alberto VELÁSQUEZ Jiménez</i>	379
Capítulo 20. Panorama de los países miembros de la RIADICYP: España	
<i>Juan Carlos VILLAR Gutiérrez y José María CARBAJO García</i>	399
Capítulo 21. Pulp and paper industry in Finland	
<i>Maria Soledad PERESIN, Bruno LÖNNBERG, Pirkko MOKKENTIN-MATILAINEN y Pedro Edson FARDIM</i>	404
Capítulo 22. Industria de pulpa y papel en México	
<i>José TURRADO Saucedo y Alma Rosa SAUCEDO Corona</i>	423
Capítulo 23. A indústria de pasta e papel em Portugal	
<i>Paulo Jorge Tavares FERREIRA y Manuel Duarte Barroca DELGADO</i>	427
Capítulo 24. Panorama de la industria de pulpa y papelera en Venezuela	
<i>Gladys Margarita MOGOLLÓN Briceño y María Cristina AREA</i>	432
Capítulo 25. La Industria de pulpa y papel en Uruguay	
<i>María Noel CABRERA Kolesnick, Leonardo CLAVIJO Peña y Javier DOLDÁN</i>	440
Annex I. MAPA: A indústria de base florestal na América do Sul	
<i>Pöyry Tecnologia Ltda.</i>	458
Annex II. MAPA: Principais fábricas de pasta e papel de Portugal	
<i>Paulo Jorge Tavares FERREIRA</i>	459

PRESENTACIÓN

El libro **Panorama de la Industria de Celulosa y Papel en Iberoamérica 2008** fue el resultado de ocho años de intensa amistad, cooperación e intercambio de intereses entre profesores de las Universidades, investigadores científicos de Centros Tecnológicos e industriales del sector de celulosa y papel, que incluyó también el cálido intercambio de jóvenes estudiantes entre los centros y laboratorios de investigación. En 2008 el libro se orientó a transmitir un mínimo conocimiento sobre pulpa y papel a los jóvenes investigadores, a partir de los materiales de enseñanza con que contaban varios profesores, incluyendo los diferentes procesos de pulpado, la fabricación de papel y su reciclado, la biotecnología y el medio ambiente como contenidos de interés. Se presentó también un panorama de las industrias de cada país iberoamericano y se proporcionó información acerca de sus centros de investigación.

Luego de ocho años, el presente libro **PANORAMA DE LA INDUSTRIA DE CELULOSA Y PAPEL Y MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS 2016**, tiene como objetivo analizar el aprendizaje tecnológico iberoamericano a lo



largo de los años, entender los temas emergentes importantes, presentar una visión del futuro tecnológico de la industria y actualizar la información de las industrias Iberoamericanas de pulpa y papel. Cada capítulo es el resultado de la profunda experiencia de los autores. Sus hallazgos sobre la evaluación del pasado, presente y futuro del sector contienen profundas reflexiones sobre el largo caminos tecnológico y económico por el que ha atravesado y actualmente transita. Algunos autores también consideran que las tecnologías emergentes serán críticas para el éxito continuo del sector Iberoamericano y exponen sus puntos de vista en los temas más relevantes. Toda esta experiencia e información será muy importante para nuestros jóvenes colaboradores.

Si bien el mercado de la pulpa y el papel aparenta atravesar por un calmo momento económico e incluso un ligero declive en algunos productos, siempre mantiene una producción extremadamente rentable de *commodities* y actualmente transita por turbulentos cambios que pronto verán la luz, tanto de tecnologías y nuevos productos como de mercados especializados. Este torbellino de innovaciones en todos los aspectos del negocio es tal, que en los últimos ocho años la RIADICYP ha tenido que organizar más de un evento por año, con un total de 4 Congresos CIADICYP, 2 Simposios internacionales de materiales lignocelulósicos, un Congreso internacional de Bio-economía, más un Foro CYTED de Bio-economía orientado al encuentro con empresas emergentes en el sector.

Consideramos por lo tanto que estamos viviendo una época de transición tecnológica y en los próximos ocho años seguramente publicaremos un nuevo libro que analice la evolución de los procesos, tecnologías y socio-economía, incluyendo el análisis de los marcos regulatorios y políticas macro-regionales relacionados con la actividad agroforestal. Cada edición regular del libro se considera un nuevo libro, porque no es una revisión y actualización de ediciones, sino una renovación total de contenidos elaborados para acompañar la maduración del conocimiento iberoamericano acerca de la pulpa, el papel y los materiales lignocelulósicos, con el objetivo de aportar a la formación de los jóvenes talentos que se dedicarán a nuestra industria.

María Cristina Area y Song Won Park



Prologo

Constancia, tenacidad, interés, análisis, estudio, investigación, esfuerzo y entrega; son las virtudes de este grupo de académicos, investigadores y científicos, que apoyados en Centros Tecnológicos e industriales del sector de celulosa y papel, han culminado la publicación del libro PANORAMA DE LA INDUSTRIA DE CELULOSA Y PAPEL EN IBEROAMÉRICA 2008 y ahora la publicación de su segundo libro titulado: PANORAMA DE LA INDUSTRIA DE CELULOSA Y PAPEL Y MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS 2016.

En nombre del Programa CYTED, en mi calidad de Gestor del Área 3, PROMOCIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL, me es grato felicitar a este grupo de investigadores, científicos y académicos, que basados en un plan de trabajo técnico científico, han realizado aportes puntuales a la industria del sector de celulosa y papel y a la academia, incluyendo el intercambio de jóvenes estudiantes entre los centros y laboratorios de investigación.

El CYTED se nutre con el trabajo de las Redes Temáticas como RIADICYP y PROVALOR, que uniendo intereses y conocimientos se plantean objetivos de analizar el aprendizaje tecnológico iberoamericano, entender los temas emergentes importantes y presentar una visión del futuro de la industria.

Es importante resaltar la experiencia de los autores, aglutinados en las Redes temáticas que le dan vida y valor a estas investigaciones, convirtiéndose en referentes de la industria, así como a sus reflexiones sobre el largo camino tecnológico y económico pero defendiendo el medio ambiente y la biodiversidad en Iberoamérica, sin dejar de lado la productividad y rentabilidad de la industria del sector.

José Luis Montalvo Garcés

I

RIADICYP: RED IBEROAMERICANA DE CELULOSA Y PAPEL

María Cristina Area¹, Juan Carlos Villar², Song Won Park³,
Paulo Tavares Ferreira⁴

Introducción

La industria celulósico-papelera es muy abarcativa, y concierne disciplinas muy complejas. Para realizar investigación o impartir enseñanza en el área, son necesarios laboratorios con instrumental excesivamente caro, específico y de alta complejidad. Existen recursos humanos especializados, pero geográficamente dispersos, así como una demanda de programas y alumnos, no masiva y dispersa.

La posibilidad de reunir destacados docentes-investigadores de Iberoamérica en una red, permite realizar un intercambio valioso para las Instituciones involucradas (universidades, centros e industria), elevando el nivel académico, y logrando acuerdos básicos sobre temas de importancia en el área.

Pueden enumerarse diversas particularidades que justifican ampliamente la formación de una Red Temática. La industria celulósico-papelera es muy abarcativa, y concierne disciplinas muy complejas. Se trabaja con materias primas de diversos orígenes y costos (todo tipo de plantas, minerales, reactivos químicos), se utilizan procesos que involucran diferentes recursos energéticos (procesos mecánicos, químicos, biotecnológicos), los productos finales son diversos (pulpas, papeles, subproductos). Pueden fabricarse co-

-
1. PROCYP, IMAM, Argentina
 2. INIA, España
 3. USP, Brasil
 4. UC, Portugal

modities (diario, papeles de impresión/escritura en general) o productos de alto valor agregado (derivados de celulosa o ligninas). Los usuarios pueden ser desde grandes compañías multinacionales a pequeñas empresas familiares. Para realizar investigación, servicios o impartir enseñanza en el área, son necesarios laboratorios con instrumental excesivamente caro, específico y de alta complejidad. Existen recursos humanos especializados, pero geográficamente dispersos, así como una demanda de servicios, programas de formación y alumnos, no masiva y dispersa.

Por lo antedicho, la posibilidad de reunir destacados docentes- investigadores de Iberoamérica en la Red Iberoamericana de Celulosa y Papel (RIADICYP) permite realizar un intercambio valioso para las Instituciones involucradas (universidades, centros e industria), elevando el nivel académico, potenciando las capacidades de vinculación tecnológica y servicios, y logrando acuerdos básicos sobre temas de importancia en el área.

Más de una década después de la creación de la Red Iberoamericana de Celulosa y Papel (RIADICYP) puede decirse que se han cumplido con creces sus objetivo, tal como lo demuestran las numerosos tesinas de grado y tesis de postgrado realizados con tutorías conjuntas, los cursos internacionales dictados por miembros de la red, los programas de postgrado interuniversitarios, el intercambio de investigadores, el desarrollo de investigaciones conjuntas, el aumento de capacidades de investigación, los artículos publicados o presentados en Congresos, los proyectos de cooperación binacionales y multinacionales, los Congresos Iberoamericanos, Talleres, Simposio, la página web (que ha recibido más de 758.000 visitas), los más de 100 boletines mensuales y tantas otras cosas realizadas en forma conjunta entre miembros de la red.

Para que esto siga funcionando y se potencie, invitamos a toda la comunidad involucrada a hacerse miembro de la RIADICYP.

Objetivos

La Red Iberoamericana en Celulosa y Papel es un instrumento de carácter científico-técnico, autónomo, independiente, abierto y permanente. Está formada por investigadores, docentes, técnicos, organizaciones afines de Iberoamérica y países asociados, reunidos con el objetivo general de fomentar el diálogo y la cooperación, promoviendo iniciativas y proyectos internacionales de investigación y formación en el área de materiales lignocelulósicos, celulosa, papel y su reciclado, dando origen a programas de carácter multilateral,

a fin de buscar soluciones a problemas comunes, potenciando el desarrollo de sus miembros y aumentando sus capacidades de investigación, formación y vinculación tecnológica.

Sus objetivos específicos son:

1. Identificar y desarrollar líneas directrices de investigación en las áreas de materiales lignocelulósicos, celulosa, papel y su reciclado.
2. Promover la coordinación e integración entre organismos de la Red y otros externos, tanto públicos como privados, que posean objetivos afines.
3. Fomentar el intercambio de experiencias e información, por medio de consultas permanentes y la organización de foros sobre temáticas del área.
4. Facilitar la formación y especialización de recursos humanos, fomentando la movilidad entre los grupos de investigación.
5. Elaborar una agenda común de trabajo, definiendo las metas e identificando los logros alcanzados, a fin de dar credibilidad a la Red.
6. Fortalecer las capacidades técnicas de las instituciones, identificando problemas y potencialidades, buscando soluciones adecuadas, y la utilización eficiente de los recursos.
7. Realizar bienalmente el Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel (CIADICYP).
8. Publicar y difundir los trabajos de los grupos pertenecientes a la Red.
9. Fomentar la relación RIADICYP-Industria, a través de Servicios, Consultoría, Desarrollo tecnológico, Transferencia de tecnología, otros.

Historia y actividades

En el año 1999, a través de contactos entre diferentes centros de investigación, surgió la intención de convocar a los máximos representantes de la investigación Iberoamericana en Celulosa y Papel en un Congreso, para discutir sobre sus actividades, intercambiar ideas, tomar conocimiento de las temáticas de cada grupo y marcar un rumbo entre todos. Esto pudo viabilizarse a partir de un Proyecto financiado por SECYT (Argentina) y CAPES (Brasil), basado en el intercambio docente y de investigación entre el Programa de Investigación en Celulosa y Papel de la Universidad Nacional de Misiones, Argentina, PROCYP-UNaM y la Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo. La realización de un Congreso Iberoamericano se encontraba entre los objetivos del proyecto, y se acordó que se realizaría en Iguazú, Misiones, Argentina.

Así surgió el 1º Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel (CIADICYP 2000), realizado en octubre de 2000, organizado por la Dra. María Cristina Area, de la PROCYP, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), con apoyo del Dr. Song Won Park de la Universidad de Sao Paulo, el Dr. Jose Mangolini Neves del Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Sao Paulo y que contó con más de 100 participantes.

Dentro del Congreso se realizó una reunión de representantes de instituciones universitarias y centros de investigación, en forma autoconvocada. En la misma se realizaron mesas redondas para discutir las líneas directrices de investigación en el tema en Iberoamérica, y se analizaron diferentes posibilidades de integración y mecanismos de cooperación, generándose finalmente la RED IBEROAMERICANA DE DOCENCIA E INVESTIGACIÓN EN CELULOSA Y PAPEL (RIADICYP).

La RIADICYP se consolidó a través de las comunicaciones realizadas en estos dos años y como consecuencia del CIADICYP 2002, organizado en Campinas, Brasil, por el Dr. Song Won Park de la Universidad de Sao Paulo, el Dr. Jose Mangolini Neves del Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Sao Paulo, y el Dr. Nivaldo Santos de la Universidad de Las Villas, Cuba.

En 2003 se presentó la red temática a CYTED (Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de Iberoamérica), lográndose un financiamiento de 4 años, para el período 2004-2008. El CYTED es un programa de cooperación multilateral, establecido por un Acuerdo signado en 1984 por las Cancillerías de los 21 países iberoamericanos. Participan del mismo más de 10.000 investigadores en las más variadas ramas de la ciencia y la tecnología a través de proyectos de I + D y de Redes de expertos. El CYTED es también responsable de redactar en forma anual la Agenda de Ciencia y Tecnología de la Cumbre de Jefes de Estado Iberoamericanos.

A partir de ese año, la RIADICYP organizó y realizó las siguientes actividades:

- El III Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, CIADICYP 2004, se realizó en Córdoba, España, en noviembre de 2004, organizado por el Dr. Juan Carlos Villar Gutiérrez (INIA, Madrid) y el Dr. Luis Jiménez Alcalde (Universidad de Córdoba), con la colaboración del Dr. Ricardo Silva (UCh, Chile) y el Dr. Paulo Ferreira (UC, Portugal).
- El “Taller para una Acción Estratégica Regional de Celulosa y Papel en México, América Central y el Caribe” se realizó en Mérida, Venezuela en noviembre de 2005, organizado por la Prof. Gladys Mogollón de la Universidad de Los Andes.

- El IV Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, CIADICYP 2006, en Santiago y Valdivia (Chile) del 23 al 27 de octubre de 2006, fue organizado por los Dres. Javier González Molina y Ricardo Silva Soto (UCh, Chile) y la MSc. Silvana Mariani (UA, Chile).
- El “Taller para una acción estratégica regional de celulosa y papel en el MERCOSUR”, cuyo tema central fue “La industria de pulpa y papel y el medio ambiente”, también en octubre de 2006, en Valdivia, Chile.
- El Seminario “Parte húmeda de la máquina de papel”, con participación de expertos iberoamericanos e internacionales, del 28 al 30 de mayo de 2007 tuvo lugar en Girona y Terrassa, España, organizado por el Dr. Pere Mutje de la Universidad de Girona y el Dr. Colom Pastor, de la Universidad Politécnica de Barcelona.
- El V Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, CIADICYP 2008, en Guadalajara, México, del 21 al 23 de octubre de 2008, organizado por el Dr. José Turrado Saucedo, de la Universidad de Guadalajara.
- El Seminario “Reciclado del Papel” en Guadalajara, México, los días 20 y 21 de octubre de 2008.
- En 2008 se publicó el libro: **Panorama de la Industria de Celulosa y Papel en Iberoamérica 2008**, Editado por María Cristina Area. - 1a ed. - Misiones: Red Iberoamericana de Docencia e Investigación en Celulosa y Papel-Riadicyp, 2008.568 p.; 21x15 cm. ISBN 978-987-24513-0-1
- El XXI Encuentro Nacional TECNICELPA / VI Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel - CIADICYP 2010, en el Centro de Reuniones de la Feira Internacional de Lisboa (FIL, Parque das Nações), Portugal, del 12 al 15 October 2010. Bajo el lema: “Nuevos Paradigmas en la Industria de Pasta y de Papel” se presentaron 180 trabajos con la participación de 25 países, y con una importante concurrencia (cerca de 300 inscriptos). Participaron en la organización por la RIADICYP el Dr. Paulo Ferreira y la Dra. María da Graça Carballo.
- El CIADICYP 2012 se realizó en Sao Paulo, Brasil en simultáneo con el Congreso de la Asociación Brasileira Técnica de Celulosa y Papel (ABTCP). Se presentaron 170 trabajos, de los cuales más de 80 fueron presentaciones orales, y el resto se presentó como posters. La concurrencia fue de unas 300 personas. Participaron en la organización por la RIADICYP la Dra. María Luiza Otero d’Almeida y el Dr. Song Won Park.
- En 2013 se co-organizó el Simposio Internacional sobre Materiales

- Lignocelulósicos, en el marco del 13er Congreso SAM-CONAMET. 20 y 21 Agosto 2013 - Puerto Iguazú – Argentina, con la red CYTED PROVALOR y VTT de Finlandia.
- El VIII Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel CIADICYP 2014 se realizó en Medellín, Colombia entre el 24 y el 26 de noviembre de 2014, también en co-organización con la red CYTED PROVALOR y la Universidad Pontificia Bolivariana, presidido por el Dr. Jorge Velázquez en colaboración con el Dr. Germán Quintana.
 - En 2015 se realizará el 2do Simposio Internacional sobre Materiales Lignocelulósicos, organizado entre las redes RIADICYP y CYTED PROVALOR junto con el VTT de Finlandia. El Simposio se realizará conjuntamente con el 4to Congreso Latino-Americano sobre Biorrefinerías y el 3er Congreso Ibero-Americano sobre Biorrefinerías (CIAB), en los días 23 a 25 de noviembre de 2015 en la ciudad de Concepción, Chile. Se trata del evento continental en Las Américas más importante sobre nuevos usos de biomasa forestal, agrícola y algal que reunirá a expertos de universidades, centros de investigación, empresas y el sector público de la región y el mundo. Durante tres días, se discutirán trabajos, en la modalidad de presentaciones orales y póster, que reflejarán el estado del arte en la materia con énfasis en oportunidades para Latino e Iberoamérica.
 - La Conferencia de Bioeconomía de Biomasa (BEM 2015), organizado por la RIADICYP y PROVALOR durante el 48º Congreso de ABTCP, 6 al 8 de octubre de 2015 en Sao Paulo, Brasil, con tema central innovación, y con foco en economía, energía y materiales bio-inspirados.
 - El XIX Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel CIADICYP 2016 bajo el lema “Building bridges in research and innovation for sustainable bioeconomy” (Tendiendo puentes en investigación e innovación para una bioeconomía sostenible) se realizará en Turku, Finlandia, en los días 25-28 de septiembre, siendo el Presidente del mismo el Dr. Pedro Fardim de la Åbo Akademi University.

Como acciones permanentes de la RIADICYP, pueden citarse:

- Página web de la RIADICYP (www.riadicyp.org)
- Boletín mensual de la RIADICYP (se envía gratuitamente a los miembros)
- Las autoridades de la red, con todos los miembros que deseen participar, se reúnen cada dos años (Reuniones de Coordinación).

Miembros

La red cuenta actualmente con 170 miembros de 15 países. A lo largo de sus 14 años de vida, el éxito de la RIADICYP como red de alto nivel técnico se debió al hecho de posibilitar el intercambio y la obtención de información y contactos para la cooperación en forma gratuita.

La distribución de miembros activos por país es Argentina (32); Brasil (19); Chile (5); Canada (1); Colombia (4); Cuba (6); El Salvador (1); España (31); Estados Unidos (3); Finlandia (5); México (6); Perú (1); Portugal (16); Turquía (1); Uruguay (12); Venezuela (12). Participan instituciones universitarias, centros de investigación y empresas.

Asociación RIADICYP

En los años transcurridos desde su creación, la red ha crecido y sus acciones han aumentado. Los gastos corrientes de funcionamiento, básicamente los de mantenimiento de la página, elaboración de boletines, organización de la documentación, etc. se han incrementado debido al evolución de las actividades y miembros de la red.

En la Reunión de Coordinación de la RIADICYP, realizada en Coimbra, Portugal, el 16 de octubre de 2010 se creó la Asociación Red Iberoamericana de Celulosa y Papel (Asociación RIADICYP) con el objetivo de promover y fomentar las actividades de la RIADICYP, por lo cual posee los mismos objetivos de la red).

En la Reunión de Coordinación de la RIADICYP, realizada en Medellín, Colombia, el 26 de noviembre de 2014 se eligieron las autoridades para el próximo período. Autoridades de la Asociación RIADICYP:

Presidente: Juan Carlos Villar (INIA, Madrid)

Vicepresidenta: M^a Cristina Area (UNaM, Argentina)

Secretario: Germán Quintana (UPB, Colombia)

Tesorero: Pere Mutje (UdeG, España)

Vocal 1: Song Won Park (USP, Brasil)

Vocal 2: Paulo Ferreira (UC, Portugal)

Vocal 3: José Turrado (UG, México)

Vocal 4: Miguel Zanuttini (UNL, Argentina)

Por intermedio de la Asociación se podrán financiar las acciones de la RIADICYP (página web, boletines, libros, descuentos en los CIADICYP para miembros, etc.).

El socio RIADICYP contribuye con una cuota mínima anual y recibe en contrapartida beneficios en las acciones de la red. Los socios actuales son 12, y realizan un aporte anual desinteresado para cubrir los gastos de la red.

Organización de la RIADICYP

La red cuenta con una Coordinación Científica (Dra. María Cristina Area), una Coordinación Administrativa (Dr. Juan Carlos Villar Gutiérrez) y una Comisión de Asesores formada por los miembros de la Asociación RIADICYP.

Existe asimismo un Comité Permanente de eventos internacionales (formado por el Dr. Juan Carlos Villar Gutiérrez, el Dr. Paulo Ferreira, el Dr. Song Won Park y la Dra. María Cristina Area), encargado de establecer las pautas generales de organización de los Congresos Iberoamericanos y apoyar su organización.

Contactos

Coordinadora científica:

Dra. María Cristina Area

cristinaarea@gmail.com

Programa de Celulosa y Papel

Instituto de Materiales de Misiones (IMAM) UNaM-CONICET

Félix de Azara 1552 (3300) Posadas, Misiones, Argentina

TE/FAX PROCYP: +54-376-4422198

Coordinador administrativo:

Dr. Juan Carlos Villar Gutiérrez

villar@inia.es

Laboratorios de Celulosa y Papel

Centro de Investigación Forestal - INIA

Ctra. de la Coruña, Km 7, 28040 Madrid. España

(+34) 913 476 761

II

RED PROVALOR (PRODUCTOS DE VALOR AGREGADO A PARTIR DE RESIDUOS AGRO Y FORESTOINDUSTRIALES)

Song Won Park¹, Juan Carlos Villar², María Cristina Area³

La mayoría de los residuos agro y foresto industriales se desperdicia (en general, se quema) generando contaminación y perdiendo la posibilidad de aprovechar los compuestos químicos valiosos que poseen. Los residuos foresto y agroindustriales constituyen recursos naturales renovables disponibles en grandes cantidades y de bajo costo. El aserrín de madera, el bagazo de caña, las pajas y cáscaras de cereales, se encuentran entre los desechos más importantes de la foresto y agroindustria. Estos residuos suelen representar un problema y su tratamiento consume recursos en gestión, tratamiento y eliminación, y su acumulación contribuye con la contaminación del entorno, cuando los mismos podrían ser aprovechados adecuadamente.

Por ejemplo, el aserrín es un desecho de la elaboración primaria de la madera, la cual se constituye en una de las principales industrias de varios países de sudamérica. Los aserraderos producen contaminación a partir de los desechos no utilizados, tales como corteza, aserrín y despuntes, los que también pueden producir contaminación de cursos de agua y/o del aire. Alrededor del 50% de los aserraderos deja en descomposición el aserrín generado en el proceso productivo, por lo que presentan un potencial riesgo de incendios o una potencial contaminación de las aguas subterráneas por lavado e infiltración de las sustancias extraíbles presentes en la madera. Su aprovechamiento completo permite la obtención de una variedad de productos químicos, evitando la contaminación del aire producida por la quema, lo que preocupa a los pobladores

1. USP, Brasil

2. INIA, España

3. PROCYP, IMAM, Argentina

de varias localidades. De igual forma, aportar valor añadido a estos residuos va a posibilitar crear las correspondientes industrias en el entorno rural en el que se genera el residuo. Y, en consecuencia, la creación de empleo de calidad en las zonas agro-forestales, contribuyendo así a fijar la población y a un desarrollo armonizado del campo.

Los residuos foresto y agroindustriales constituyen recursos naturales renovables disponibles en grandes cantidades y de bajo costo. La composición de estos materiales es variable según la especie de la planta de la cual provienen (coníferas, latifoliadas y residuos agro-industriales) y entre los componentes principales se encuentran la celulosa (35-50%), hemicelulosas (20-35%) y lignina (10-25%).

La biomasa lignocelulósica se revela como una fuente importante de materias primas dado su carácter poco contaminante. Su aprovechamiento permitirá su valoración como materia prima para otras industrias, obteniéndose un valor añadido que resulta de gran interés industrial, y contribuirá a la promoción de la pequeña y mediana empresa con desarrollo de mano de obra calificada para la creación de empleos y reducción de la pobreza.

El aprovechamiento de estos residuos como materias primas permite además disminuir la presión creciente sobre los recursos naturales generados por el avance de la frontera agrícola. En el mundo se desarrollan cada día nuevas tecnologías para aprovechar mejor este tipo de residuos y valorizarlos mediante la fabricación de biomateriales, productos de química fina y biocombustibles.

La Red Temática PROVALOR, perteneciente al Área Temática 3 “Promoción del Desarrollo Industrial” de CYTED, busca el aprovechamiento de residuos agro y forestoindustriales de Iberoamérica para la generación de productos químicos de alto valor agregado.

La red CYTED PROVALOR, surge en el año 2012 en seno de la Red Iberoamericana de Docencia e Investigación en Celulosa y Papel (RIADICYP) como respuesta al creciente interés por sustituir materias primas fósiles por otras renovables y sostenibles. En ese contexto, la industria de celulosa posee amplios conocimientos sobre los procesos para fraccionar los componentes de la lignocelulosa y transformarlos posteriormente a energía, biocombustibles, productos químicos de base (*platform chemicals*) y materiales. Por otra parte, los países iberoamericanos tienen una gran cantidad de recursos agrícolas y

forestales que generan residuos a los que se da escasa utilización (en general, se queman). Existen grupos de investigación iberoamericanos que trabajan para dar un aprovechamiento integral a estos recursos, ya sea estudiando las aplicaciones de los polímeros de la lignocelulosa como especializándose en la tecnología de su transformación.

El objetivo de PROVALOR es coordinar las acciones de los grupos de I+D y de las empresas de Iberoamérica que realizan investigación y desarrollo sobre la generación de productos de alto valor agregado (biocombustibles, *platform chemicals* y materiales) a partir de residuos agro-forestales e industriales.

Sus objetivos específicos son:

1. Coordinar las acciones de científicos, tecnólogos y empresarios interesados en el área estratégica en estudio.
2. Identificar líneas directrices de investigación en el área, detectando demandas empresariales y sociales de tecnologías asociadas.
3. Fortalecer las capacidades técnicas de las instituciones, identificando problemas y potencialidades y utilizando los recursos eficientemente.
4. Impulsar el intercambio de experiencias e información.
5. Facilitar la formación y especialización de recursos humanos, fomentando la movilidad entre los grupos de investigación.
6. Identificar y desarrollar emprendimientos factibles y viables, de alto impacto socioeconómico y bajo impacto ambiental.
7. Contribuir al acercamiento con la industria mediante el desarrollo de proyectos en común entre científicos, tecnólogos y empresarios.
8. Promover la coordinación e integración entre organismos de la Red y otros externos, tanto públicos como privados, que posean objetivos afines.
9. Publicar y difundir los trabajos de los grupos pertenecientes a la Red.

La red coordina actividades de investigación en el espacio Iberoamericano sobre el aprovechamiento de los residuos agro y forestoindustriales para la producción de derivados de celulosa, hemicelulosas, ligninas y extractivos, promoviendo el conocimiento mutuo entre científicos, tecnólogos y empresarios de las distintas disciplinas, para luego iniciar el proceso de transferencia de conocimientos a partir de la relación universidad-empresa.

El perfil de los grupos participantes incluye la investigación básica, la ingeniería de procesos, el control de procesos y empresas relacionadas. Está constituido por un total de veintiún grupos participantes (incluidas empresas).

La red PROVALOR busca, entre otros:

1. Impulsar las investigaciones sobre producción de químicos a partir de residuos agro y foresto industriales.
2. Propiciar los estudios multidisciplinarios, permitiendo una formación pluridisciplinar de los investigadores.
3. Permitir la ejecución de proyectos competitivos mediante la interacción entre instituciones.
4. Poner a los investigadores en posición ventajosa para competir por financiación pública/privada (creación de grandes grupos).
5. Integrar empresas y universidades en la I&D.
6. Transferir conocimientos entre los grupos más y menos desarrollados en el tema.
7. Contribuir al desarrollo de tecnologías limpias de producción de químicos biodegradables.
8. Contribuir con los países involucrados a la formación cualificada de profesionales y al desarrollo de conocimientos y tecnologías.
9. Generar tecnologías que ayuden a:
 - Aprovechar integralmente la biomasa.
 - Aportar a la diversificación energética y de materias primas.
 - Mejorar el sector de industrialización de productos agrícolas y forestales.
 - Minimizar las emisiones de CO₂ a la atmósfera por la disminución de emisiones netas de CO₂ con respecto a los combustibles fósiles.

Disminuir la dependencia energética de todos los países involucrados.

El principal impacto de la red consiste en la incorporación de nuevos productos y nuevas tecnologías, competitivos, por parte de los pequeños y medianos productores regionales. Las posibilidades de transferencia al sector empresarial están relacionadas con el conocimiento científico-tecnológico que aportará el proyecto. Se prevé que los resultados se puedan transferir a empresas interesadas en la obtención de productos de química fina, fabricantes de equipos, etc.

La red PROVALOR ha conjugado grupos con perfiles de investigación y desarrollo, procesos químicos, algunos muy especializados en transferencia y empresas, lo que asegura la transferencia de los resultados al sector productivo. Con la Red PROVALOR se ha logrado coordinar grupos de investigación que trabajan sobre el tema de aprovechar integralmente los recursos, grupos que estudian aplicaciones de los polímeros naturales, y grupos que se especializan en tecnología, de forma tal de contribuir a la cadena de valor.

III

GESTIÓN DEL RECURSO FORESTAL PARA UNA FORESTOINDUSTRIA SOSTENIBLE

Laura Covinich¹, María Cristina Area¹

Introducción

Desde el inicio de la era industrial, el desarrollo se ha entendido como crecimiento económico global. Sin embargo, si bien el crecimiento es parte del desarrollo, la realidad indica que este indicador está muy lejos de explicarlo. Crecimiento mide cantidad, mientras que desarrollo expresa calidad. El desarrollo implica satisfacción de necesidades humanas y sociales, como salud, educación, culturales, económicas, espirituales, etc. Implica crear capacidades y aprovechar oportunidades para la construcción de una sociedad que sea capaz de alcanzar una mejor calidad de vida y un bienestar sostenible. Los grandes problemas ambientales actuales surgen de la permanente acción de los seres humanos sobre los recursos naturales, donde el hombre, para satisfacer sus necesidades ha ido modificando las características de la Tierra, humanizando el paisaje [1]. Los elementos naturales se transforman en recursos naturales cuando la sociedad tiene la necesidad específica de usarlos. Para que un recurso sea considerado como tal, se necesitan dos factores: su existencia objetiva y concreta, y la necesidad de utilizarlo. Entre ambos factores se establece una serie de soluciones de compromiso entre la posibilidad técnica de extraerlo, el costo de la extracción que esa posibilidad técnica genera y finalmente el precio que está dispuesta a pagar la sociedad por ese recurso (este precio involucra dinero, pero también esfuerzo, tiempo,

1. Programa de Celulosa y Papel (PROCYP). Instituto de Materiales de Misiones (IMAM) UNaM-CONICET. Posadas, Argentina.

y la aceptación de los impactos ambientales generados) [2]. La definición tradicional de desarrollo sostenible lo vincula a la satisfacción de las necesidades del presente, sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones para alcanzar sus propios requisitos [3]. Visiones más recientes lo vinculan con un proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida, fundado en medidas apropiadas de conservación y protección ambiental. La base es no sobrepasar la capacidad de recuperación de los recursos naturales, ni su capacidad de absorción de desechos. En cualquier definición, sin embargo, se reconoce la necesidad de compatibilizar el continuo crecimiento económico, con la equidad social y con la protección y administración eficiente del ambiente [4].

La industria de la pulpa y del papel se caracteriza por integrar una serie de actividades de transformación que van desde el desarrollo de plantaciones forestales, la producción de pulpa y la elaboración de los diferentes tipos de papel y cartón. Actualmente, esta industria papel es vista como un todo: desde la plantación forestal hasta los consumidores. La concepción ambiental actual hizo surgir áreas problemáticas insospechadas hace algunos años, generando nuevos desafíos [5]. Los movimientos sociales-ambientales han tenido una profunda influencia en la industria y su funcionamiento desde mediados de los años 80, como resultado ésta ha tenido una profunda reestructuración y consolidación a lo largo de las décadas de los 80 y los 90. Con fines analíticos y prácticos, es útil distinguir una serie de “momentos” en la “modernización” ecológica de la fabricación de pulpa y papel: la definición e identificación del problema, la acción política a llevar adelante, la tecnología de innovación propuesta para la solución y la adopción de esa tecnología. En la práctica, estos “momentos” se solapan y/o combinan en el tiempo y en el espacio. Los movimientos sociales influyen considerablemente en cada uno de ellos, siendo especialmente importantes en los dos primeros: la definición del problema y la acción política. Las agencias gubernamentales, las instituciones de investigación y las empresas fabricantes son los principales actores centrales en los otros dos momentos [6]. La industria papelera, gracias a sus particulares características, es uno de los sectores mejor posicionados en el camino del desarrollo sostenible: la materia prima de sus procesos es natural y de características renovables, los procesos productivos son cada vez más sofisticados y cuentan con tecnologías respetuosas con el medio ambiente (lo que se conoce como tecnologías limpias), y como si lo anterior no fuera sufi-

ciente, fabrica productos reciclables. Como prueba de la versatilidad de la industria celulósico-papelera, existen cerca de 500 variedades de papel (por nombrar apenas un producto). En los países en los que la cultura, la educación, la comunicación, el comercio, el transporte, etc., han alcanzado niveles de desarrollo importantes, esto se refleja en mayores índices per cápita de consumo de papel. Los países desarrollados son también grandes recuperadores y recicladores de papel. El ciudadano, a través de su colaboración con la recolección selectiva de papel y cartón, contribuye activamente al consumo responsable. Se puede afirmar entonces que competitividad, crecimiento y respeto al medio ambiente son conceptos íntimamente ligados a la trayectoria reciente de la industria papelera [7] [8]. Sin embargo, esta industria ha sido foco de duras críticas, ya que tradicionalmente se la asocia con dos tipos de impactos ambientales negativos: los que producen agotamiento de los recursos naturales (eliminación de áreas de bosque nativo) y los que degradan el medio ambiente (contaminantes sólidos, líquidos y gaseosos) [1].

1. Acerca del agotamiento de los recursos naturales

El planteo referente al agotamiento de los recursos naturales está asociado básicamente a la extracción de la biomasa forestal, el reemplazo y eliminación de los bosques nativos, los procesos productivos utilizados y la reforestación con especies de rápido crecimiento, entre otros.

Los bosques, como los productos forestales que derivan de ellos, forman parte de un ciclo integrado y cerrado. Esta vegetación arbórea fija el dióxido de carbono (CO_2) para producir madera y éste queda almacenado en el papel. Con la recuperación y el reciclaje de los productos papeleros una vez usados, se prolonga la vida útil de las fibras de celulosa, optimizando el aprovechamiento del recurso y cerrando el circuito. Por otra parte, el papel usado que no entra en el circuito de reciclaje (por estar contaminado y/o no ser apto como materia prima), así como la biomasa remanente del proceso de fabricación, pueden ser empleados como combustible.

Con respecto a la fijación del CO_2 , las especies de crecimiento rápido (utilizadas en la industria forestal) se comportan como verdaderos sumideros de CO_2 . Una hectárea de cultivo de estas especies fija al año 10 toneladas de CO_2 , cuatro veces más que los árboles de crecimiento lento (como hayas y robles) [9]. Dentro del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC),

el Protocolo de Kyoto fue adoptado en 1997 con el objetivo de establecer mecanismos flexibles con vistas a la reducción de los gases de efecto invernadero. Las masas boscosas son reconocidas como actores principales en la mitigación del cambio climático mundial por ser grandes sumideros de CO₂ y existen numerosos proyectos donde las plantaciones de árboles fueron consideradas elegibles para créditos de carbono bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) [10]. En el año 2005, luego de la entrada en vigencia del protocolo, las naciones firmantes acordaron una reducción de emisiones de Gases de efecto invernadero entre 2008 y 2012, y así comenzó a destacarse el incipiente “mercado del carbono” [11]. Este mercado muestra un prometedor futuro a partir de un modesto comienzo, gracias a los MDL se ha duplicado el número de proyectos de carbono forestal, sólo hasta el 2012 se registraron al menos 434 proyectos de carbono forestal mundialmente en los mercados de carbono [12]. Básicamente, en este mercado se alcanza un acuerdo entre un comprador y un vendedor. Quienes reducen emisiones o secuestran carbono reciben pagos y quienes tienen que reducir sus emisiones pueden comprar créditos para compensar sus emisiones. “La compensación de carbono” conlleva compensar las emisiones que no pueden evitarse pagando a alguien para las secuestre [13]. Por ejemplo el mercado de carbono europeo (EU ETS) regula las emisiones de más de 11.000 centrales energéticas y de grandes instalaciones industriales pertenecientes a unas 5.000 empresas, que explican alrededor del 40% de las emisiones totales de la región. Los participantes del EU ETS pueden reducir sus emisiones internamente (mediante el recambio tecnológico, la implementación de prácticas de eficiencia energética, entre otras medidas), o acudir al mercado de carbono [14]. Existen plantas europeas de generación de energía eléctrica a partir de carbón, que pueden financiar proyectos de plantaciones forestales en América Latina y así ganar “créditos de carbono” como medida de contrarrestar los impactos negativos que puedan generarse a partir de su funcionamiento. Sin embargo, el mercado de “carbono forestal” representa un pequeño porcentaje del mercado del carbono total, porque en Europa la mayoría de los bosques son de propiedad pública [12]. Además de ser el primer gran mercado de comercio de emisiones del mundo, el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión (RCDE) de la UE es el más importante, ya que representa más de las tres cuartas partes del comercio internacional de carbono. El sistema se basa en un principio de límites máximos

(«cap and trade»): se fija un límite («cap») de emisiones totales para una serie de sectores industriales con altos niveles de emisiones y se va rebajando a lo largo del tiempo, con lo cual se reducen las emisiones. Ente 2008 y 2013, las emisiones de gases de efecto invernadero se redujeron aproximadamente en un 12 % [15]. Los bosques del mundo ocupan aproximadamente 4.000 millones de hectáreas, abarcando el 31% de la superficie total de la tierra y almacenando 289 giga toneladas de carbono en su biomasa. El ordenamiento y el planeamiento sostenible de las plantaciones forestales son las únicas medidas que permiten conservar o aumentar la existencia de carbono forestal [16].

La plantación de especies de rápido crecimiento es particularmente blanco de las críticas, ya que se las considera como una amenaza a la biodiversidad, los recursos hídricos y la fertilidad del suelo. El impacto que estas plantaciones pueden tener sobre la biodiversidad de un lugar, es indefectiblemente función de lo que reemplacen. Por ejemplo, se comprobó un aumento en la biodiversidad en países como India y China donde muchas de las plantaciones forestales se han establecido en zonas que fueron abandonadas después de actividades agrícolas intensivas [17]. Particularmente en el caso de China, estas plantaciones alcanzaron 4 millones de hectáreas en el período 2000-2005. Los cinco países con mayor ganancia neta anual de superficie forestal en el mismo período fueron China, España, Vietnam, Estados Unidos e Italia. Por otro lado, Chile, Costa Rica, India y Vietnam están entre los países que han pasado recientemente de registrar una pérdida neta a una ganancia neta de superficie forestada [10]. Otra práctica que se ha implementado con vistas al fomento de la biodiversidad es la simple conexión entre las áreas de bosque nativo, lo que se conoce como “corredores verdes”. Este concepto, así como el resguardo de las cuencas hídricas con fajas protectoras de bosque nativo, es enfatizado en Brasil. En determinadas circunstancias, las plantaciones pueden ayudar a reducir la erosión. En Nueva Zelanda el pino radiata se plantó en tierras agrícolas degradadas, y se comprobó que ayudó a estabilizar y proteger los suelos susceptibles a la erosión en la cuenca del río Waipaoa [17]. En Indonesia, hasta el año 2009 se amplió la plantación forestal en tierras degradadas en por lo menos 250.000 hectáreas como el principal mecanismo para la recuperación del recurso suelo, y como beneficio adicional se generaron 90.000 puestos de trabajo en zonas rurales, lo que constituyó un gran

impulso social por ser zonas con altas tasas de desempleo. Además, esta masa arbórea redujo las emisiones de CO₂ en 90 toneladas como mínimo [18].

Las causas de la deforestación no son responsabilidad exclusiva del sector forestal, sino que se encuentran extendidas y vinculadas con todos los sectores de la economía. El uso de los recursos, su administración y su gestión se encuentra en la intersección de diversas áreas, como la ambiental, la industrial, la comercial, la tecnológica, y otras [19]. Las economías globales dependen de la biosfera para el abastecimiento constante de los requerimientos de subsistencia y bienestar del hombre. El agotamiento de cualquiera de los recursos (como alimentos, energía, fibra, sumideros de residuos, espacios de recreación, entre otros) es especialmente riesgoso. La agricultura, por ejemplo, representa la actividad con mayor proporción de uso de la tierra por el hombre y es la principal causa de deforestación [20]. Una combinación entre diversos factores, como por ejemplo el aumento de la demanda de alimentos, la fertilidad de la tierra, el aumento de los precios de mercado de los productos básicos y la falta de derechos de propiedad claros y aplicables a las tierras forestales contribuyen a la causa [10]. El valor del capital agrícola se ha incrementado un 20 por ciento desde 1975 y en el año 2012 superó los USD 5 trillones [21]. La producción agropecuaria tiene profundos efectos sobre el ambiente en su conjunto, siendo la principal fuente de contaminación del agua por el escurrimiento y/o infiltración de nitratos, fosfatos y plaguicidas. En 1999 las tierras pastoriles y los cultivos ocupaban el 37% de la superficie de tierras de labranza del mundo y casi las dos terceras partes del agua utilizada por el hombre se destina a la agricultura [22] [23]. En los últimos 50 años la superficie cultivada en el mundo creció un 12% y la superficie regada mundial se ha duplicado durante el mismo período [24]. Del total de la superficie forestada, el 60% en América Latina y el Caribe, el 42% en Asia oriental y el Pacífico, y el 71% en África se transformaron en sectores de agricultura permanente durante entre los años 1990 y 2000 [25]. Más allá de esto, el avance desmedido de la frontera agrícola muestra indicios de freno en algunos países, pero continúa a un ritmo alarmante en otros. A nivel mundial, 13 millones de hectáreas de bosque se convirtieron en tierras de cultivo o se perdieron por causas naturales cada año en la última década, frente a los 16 millones de hectáreas anuales en los años noventa [16].

2. La recuperación de la superficie boscosa mundial

Contrariamente a la concepción generalizada y establecida, el ritmo de deforestación muestra señales de disminución. La disminución anual de la superficie forestal mundial, que en 1990-2000 era de 8,9 millones de hectáreas anuales, se ha reducido a 7,3 millones de hectáreas anuales en el periodo 2000-2005 [20], y desde el 2000 hasta el 2010 se estima una reducción de 5,2 millones de hectáreas anuales. Esta notable disminución en el ritmo de la deforestación se debe tanto a la caída en la tasa de deforestación, como al incremento en el área de nuevos bosques establecidos mediante plantación o siembra, y a la expansión natural de los bosques ya existentes [26]. La forestación y la expansión natural de los bosques en algunos países y regiones han reducido la pérdida neta del área de bosque de manera significativa a nivel mundial. De acuerdo a datos de FAO [16], el área mundial de bosques (que tiene como función principal la conservación de la diversidad biológica) ha aumentado en más de 95 millones de hectáreas desde 1990. Este incremento representa el 12% del área total de bosque, equivalente a más de 460 millones de hectáreas, la mayor parte de estos bosques se encuentran en áreas protegidas. En la tabla 1 se detalla el total de área boscosa por región, así como el incremento de las áreas plantadas alrededor del mundo a lo largo de una década. El área boscosa total de los países, se muestra la tabla 2.

Tabla 1: Área boscosa por región

Región	Total área boscosa (forestal y otros usos, 2005) ^a	Millones de hectáreas plantadas ^b	
	Millones de hectáreas	1990	2010
África	1.041,5	13	15
Asia	1.432,6	77	122
Europa	1.102,3	59	68
Norte América y Centroamérica	816,8	15	39
Oceanía	636,2	2	4
Sudamérica	960,9	8	14

a [27]

b Valores aproximados, adaptado de [16].

Tabla 2: Área boscosa por país

País	Total área boscosa (forestal y otros usos, 2010)^c Millones de hectáreas
Federación Rusa	809
Brasil	520
Canadá	310
Estados Unidos de América	304
China	207
República Democrática del Congo	154
Australia	149
Indonesia	94
Sudan	70
India	68
Otros	1347

c [16]

Sin duda alguna, para alcanzar estas cifras la mayoría de los gobiernos han considerado al sector forestal como prioritario y han tomado acciones para la conservación, protección y uso racional de los recursos forestales, teniendo como marco de referencia la Declaración de Río sobre Bosques, como uno de los logros de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en el año 1992 (conocida como segunda “Cumbre de la Tierra”). Los objetivos que se persiguen con vistas a fomentar el valor social del recurso forestal son [28]:

- El desarrollo y la promoción del manejo sostenible de los bosques nativos,
- La consideración de la variable ambiental en todos los temas relacionados con el sector forestal,
- La protección de la biodiversidad asociada a los ecosistemas,
- La ampliación de la participación de la sociedad civil y los sectores económicos en la toma de decisiones que involucren a temas forestales,
- La promoción del comercio internacional de los productos forestales,
- El desarrollo de políticas intrasectoriales que fortalezcan a las políticas y a las instituciones forestales.

El interés internacional con respecto a las políticas de protección del recurso forestal y de desarrollo económico, busca soluciones de compromiso entre estos dos frentes que en principio parecen antagónicos. El marco legal e internacional que rige las cuestiones forestales se ha ampliado y perfeccionado a través de los años, siendo los bosques un tema internacional prioritario desde el año 1992. El siguiente período estuvo caracterizado básicamente por el fomento del intercambio y las relaciones entre países desarrollados y en vías de desarrollo, estableciendo una serie de foros intergubernamentales. Por ejemplo, desde 1995 hasta 1997 funcionó el Grupo Intergubernamental sobre los Bosques (GIB) con propuestas de acción para la ordenación y el manejo sostenible de los bosques. A partir de 1997 hasta el 2000 funcionó el Foro Intergubernamental sobre los bosques (FIB) como sucesor del GIB, y en el año 2000 se creó el Foro de las Naciones Unidas sobre los Bosques, como organismo “coordinador” para establecer un marco legal, transparente y participativo para la elaboración de políticas [29]. La toma de conciencia en relación al recurso forestal es cada vez más importante e imponente, enfatizando el derecho de las próximas generaciones a disfrutar de ellos, tanto para su uso económico, como social y cultural. De acuerdo a lo enfatizado en la segunda “Cumbre de la Tierra” deben llevarse a cabo las actividades intergubernamentales (es decir actividades conjuntas) con vistas a lograr un desarrollo económico conjunto, y el apoyo debe orientarse hacia las prioridades ambientales y estrategias de desarrollo sostenible nacionales, reconociendo al sector forestal como uno de los principales actores [30].

3. El recurso forestal y la economía verde

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), bajo el concepto de “economía verde”, considera que la economía debe mejorar la calidad de vida y la equidad social, pero a la vez debe reducir significativamente los riesgos ambientales. Este conjunto de conceptos involucra el uso de tecnologías con bajas emisiones de carbono, la utilización eficiente de los recursos y la inclusión social. El objetivo a largo plazo es garantizar la sostenibilidad, y para alcanzarlo es necesario “enverdecer la economía” aplicando políticas económicas adecuadas y concretas [31]. Como ejemplo práctico y real de implementación

de “economía verde” en la región de América Latina y el Caribe, se destacan dos casos exitosos: en Curitiba (Brasil) y en Quito (Ecuador). Curitiba implementó, desde la década de 1960, un sistema de planeamiento urbano y transporte que combina la zonificación del uso de la tierra con la infraestructura de transporte público, el desarrollo de áreas residenciales, industriales y de servicios a lo largo de ejes radiales, la creación de lagos artificiales para contener aguas de lluvia y la creación de infraestructura para el manejo de residuos. De esta manera, la ciudad logró manejar su crecimiento poblacional sin experimentar congestiones, contaminación ni reducción de los espacios públicos. En la ciudad de Quito en el año 2000 se creó el Fondo para la Protección del Agua (FONAG), con el cual deben contribuir todos los usuarios. Estos fondos se utilizan para financiar el pago de servicios ecosistémicos críticos a las zonas proveedoras de agua corriente arriba, incluyendo la adquisición de tierras que desempeñan funciones hidrológicas clave. A través del fondo, más de 65.000 ha de cuencas hidrográficas están actualmente bajo manejo mejorado, lo que contribuye a asegurar la oferta presente y futura de agua para la ciudad [19].

Resulta imprescindible incluir en los análisis económicos convencionales el rol que cumplen los recursos naturales en el desarrollo socioeconómico, el bienestar social y los patrones de comercio de los diferentes países y regiones, para no desestimar los potenciales efectos socioeconómicos negativos que podrían resultar de su sobreexplotación [19]. De acuerdo con el Banco Mundial [32], alrededor de 1,6 billones de personas en todo el mundo dependen en cierta medida de los bosques para su subsistencia, de éstos al menos 350 millones de personas viven dentro o cerca de los bosques, mientras que unos 60 millones de indígenas dependen casi totalmente de ellos. De hecho, en los países en vías de desarrollo más del 70% de la población depende directamente del aprovechamiento de los recursos naturales para su subsistencia. Las actividades directamente basadas en la explotación de los recursos naturales (minería, agricultura y ganadería de subsistencia, caza, pesca, agricultura y ganadería comercial) tienen una gran importancia económica [33]. De acuerdo a estudios realizados por FAO [34], las funciones y los servicios de los bosques se podrían dividir de acuerdo al siguiente gráfico (ver figura 1).

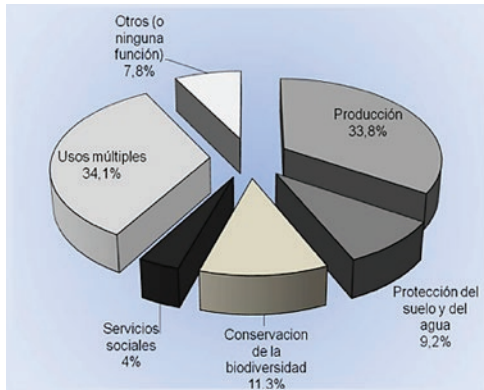


Figura 1: Valoración de los servicios del bosque. (Adaptado de [34]).

Es útil tener en cuenta la magnitud de los impactos (por supuesto que positivos) que resultan de un programa internacional eficaz que garantice el manejo sostenible y ordenado del recurso forestal, cuidando los servicios ambientales que brindan los bosques. El Banco Mundial plantea una serie de objetivos que surgen como resultado de estas políticas (figura 2) [35].

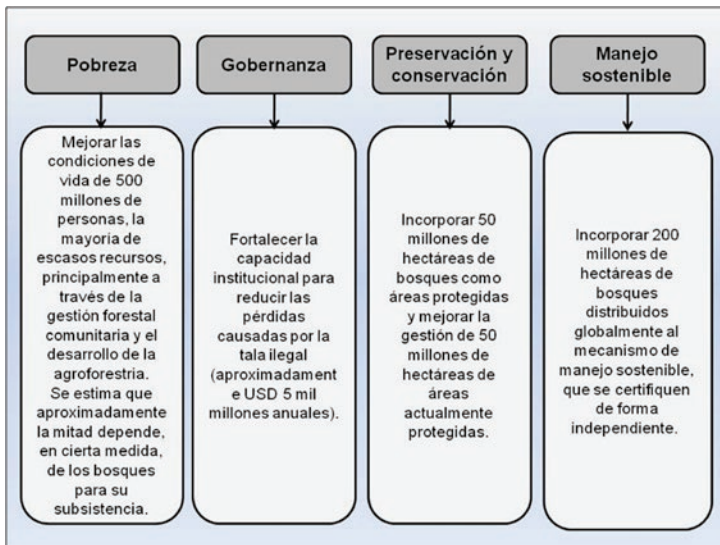


Figura 2: Objetivos propuestos por el banco mundial. (Adaptado de [35]).

A mediados de los años 90 cada país debía determinar sus políticas forestales basadas en la singularidad de su cultura, en la particularidad de sus ecosistemas forestales y por supuesto, en función de su grado de desarrollo económico. La realidad en la que estamos inmersos está marcada por la intensa búsqueda de garantizar un manejo sostenible de cada uno de los recursos. La actividad forestal fue pionera en crear técnicas de manejo sostenible y, posteriormente, técnicas para el uso múltiple de los bosques. Más recientemente se han desarrollado y aplicado conceptos holísticos como la gestión, el ordenamiento, y el planeamiento del paisaje. Sin embargo, esta actividad se enmarca en una sociedad cambiante y predominantemente urbana que, con frecuencia, se muestra escéptica ante los administradores de los recursos y sus prácticas de gestión [23]. Así como se mencionó previamente, los bosques naturales e implantados son una parte integral del hábitat y del marco sociocultural de muchas personas alrededor del mundo. Por esto, existe la fuerte convicción que a través de las técnicas basadas en los MDL se pueden realizar gestiones sobre la localización de los bosques, su extensión, y/o que tipos de masas boscosas existen o existirán en un determinado sitio geográfico y generar grandes beneficios sin comprometer la protección del recurso [12]. En la figura 3 se muestran algunos de los beneficios colaterales de aplicar los MDL a los proyectos de manejo forestal. Dentro del marco de los MDL, se plantea los sistemas silvopastoriles y los agroforestales como alternativas sostenibles para el manejo y el uso del suelo, donde en zonas rurales se contribuye al desarrollo económico y a la reducción de la pobreza. Existe considerable evidencia que demuestra que este tipo de sistemas de uso del suelo da como resultado una mejora de la eficiencia de producción de las explotaciones ganaderas, un secuestro de carbono mayor, mejores porcentajes de conservación de la biodiversidad y mayor protección del agua en paisajes dominados por el ganado. Sin embargo, el alto costo de mano de obra para su implementación es una de las principales razones de su pobre adopción [36]. En el caso de Finlandia por ejemplo, se promueven la silvicultura sostenible y mejoras en la gestión ambiental en los bosques privados, lo que ha permitido que hoy en día, en promedio, una quinta parte de los finlandeses sean propietarios de algún terreno forestal; que el 62 % de la superficie y más del 80 % de la madera suministrada a la industria finlandesa, provenga de propiedad privada; y que

el 25 % de la masa forestal corresponda al Estado; el 8 % a empresas y un 6 % a otros [37]. Aunque en sus orígenes la silvicultura y los sistemas agroforestales tuvieron comienzos plasmados de dudas, hoy son consideradas como técnicas que conservan cualquier masa forestal, aprovechándola de un modo continuo, sostenible, con la mayor utilidad posible y teniendo especial cuidado en su regeneración, ya sea natural o artificial.

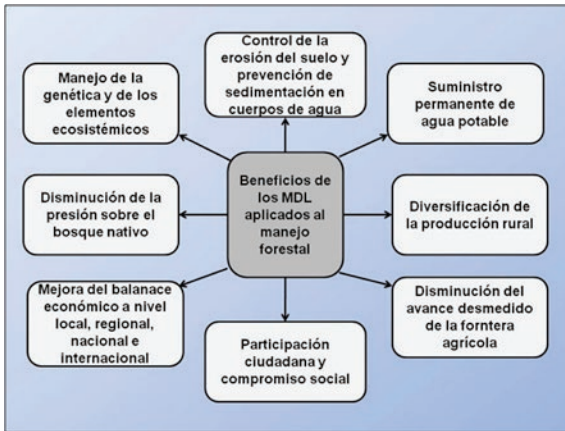


Figura 3: Beneficios colaterales de los Mecanismos de Desarrollo Limpio. (Adaptado de [12]).

En la actualidad resulta impensable no considerar a los recursos naturales como bienes económicos independientemente de que recurso se trate, ya que producen beneficios económicos y, si se los gestiona adecuadamente, no se compromete su protección. El desarrollo económico a partir de los recursos naturales y la protección y mejora del medio ambiente no son mutuamente excluyentes [38]. De acuerdo al Banco Mundial, la integración de los bosques en el desarrollo económico sostenible puede realizarse por medio del fomento de las inversiones que catalicen la producción de productos forestales, incluidos los servicios ambientales que estos brindan [35]. Si bien es prácticamente imposible cuantificar el “valor” de los servicios ambientales de los bosques del mundo, un estudio realizado en 1997 en la revista Nature estima el valor global de los bienes y servicios que proporcionan los ecosistemas forestales (desde la madera hasta a la regulación del clima) y este valor se estimó en USD 4,7 trillones al año, más

de la cuarta parte del PIB mundial de ese mismo año [39]. Según datos de FAO [40] el valor bruto obtenido de la producción derivada del sector forestal en su totalidad se estimó en USD 950 billones en el año 2007, de los cuales USD 384 mil millones fueron de valor agregado de los productos, lo que corresponde a un 40% más que en el año 2000. En la figura 4 se muestra el valor resultante del comercio mundial a partir del sector forestal discriminado por producto.

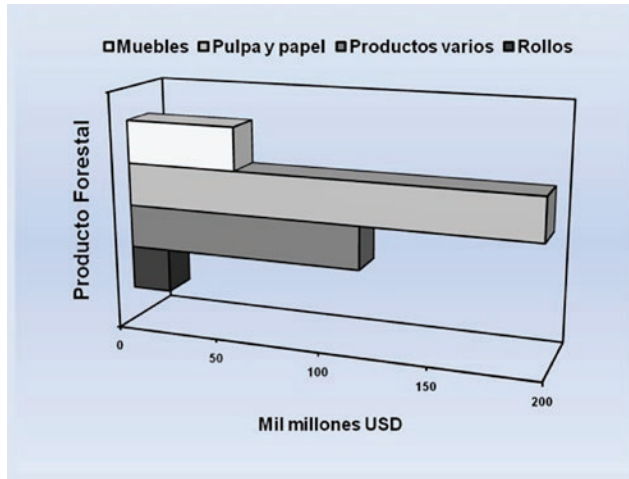


Figura 4: Valor del comercio de productos forestales. (Adaptado de [27]).

Sin embargo, la tala ilegal y el comercio de productos derivados, a menudo involucra prácticas forestales no sostenibles que provocan graves daños a los bosques y a las economías de los países productores. Como consecuencia del comercio ilegal se acentúan las distorsiones del mercado. En 2006, se estimaron que las pérdidas globales anuales en el comercio de los productos forestales fueron más de USD 10 billones, más las pérdidas anuales de los ingresos públicos de alrededor de USD 5 billones. Sin embargo, la naturaleza clandestina de esta actividad hace que sea muy difícil estimar su verdadera escala y en consecuencia las pérdidas que genera [10].

La regulación en cuanto al manejo de los recursos naturales pretende disminuir y contrarrestar la producción de madera proveniente de los bosques na-

tivos realizada ilegalmente. La regulación creciente y el aumento en los controles atenuaron el fácil acceso a estos recursos que existía en los años precedentes. Esto impactó sobre la oferta de madera, debido al aumento de los costos de comercialización y ocasionando la baja competitividad de la madera proveniente de bosque nativo. En cambio, para el caso de la madera de bosques implantados se ha verificado un aumento en la producción y consumo. Los programas de investigación y desarrollo, liderados por la empresa privada y facilitados por las políticas gubernamentales, aumentaron la competitividad de la madera de los bosques implantados, favoreciendo el desarrollo del sector forestal y asentando sus bases [41].

4. La certificación forestal como resguardo de la sostenibilidad

Las políticas de manejo y el compromiso con el ambiente han permitido, a través de los años, aumentar los ingresos del sector forestal y su competitividad. Sumado a lo anterior, surgen las certificaciones de la gestión forestal y el etiquetado de los productos forestales. Estos mecanismos son fuerzas impulsoras del desarrollo económico que se rigen por las premisas del desarrollo sostenible. La finalidad de la certificación es proporcionar un incentivo para la gestión adecuada de los bosques, mediante un mejor acceso a los mercados y precios más altos para los productos certificados. Comúnmente se la califica como una resolución “basada en el mercado”, ya que es de carácter voluntario y no implica la participación de los gobiernos como entes reguladores [29]. La certificación forestal suele encontrarse asociada con la llamada Cadena de Custodia (CdC) de los productos originados en los bosques certificados, lo cual da origen a un eco-etiquetado que sirve para unir la oferta y la demanda de los productos forestales [42].

En el año 1993, una serie de grupos defensores del medio ambiente y otras partes interesadas respondió a la creciente preocupación por la creciente pérdida de superficie forestal, mediante la creación del Forest Stewardship Council (FSC), una iniciativa privada diseñada para promover la certificación forestal voluntaria. En los años siguientes se crearon otras organizaciones de certificación, incluyendo el Programa para el Reconocimiento de Certificación Forestal (Programme for the Endorsement of Forest Certification, PEFC), la Asociación de Normas Canadiense, el Sistema de certificación brasileiro (CERFLOR), el Con-

sejo de Certificación de la Madera en Malasia, Lembaga Ekolabel en Indonesia, el Sistema Chileno de Certificación de Manejo Forestal Sustentable (CERTFOR), el Sistema Nacional de Certificación Forestal Argentino (CERTFOAR), y la Organización Internacional de Bosques Tropicales (ITTO), entre otras. PEFC es un programa de reconocimiento de normas nacionales de certificación, utilizado en la mayor parte de los países europeos, China, Australia, Canadá, y Estados Unidos [43]. La FSC ha certificado aproximadamente 300 millones de hectáreas en el mundo, mientras que las certificaciones PEFC representan aproximadamente dos tercios del total mundial, con más de 200 millones de hectáreas de bosques bajo su esquema [10]. En 2007 Norteamérica contaba con el 56% de los bosques certificados del mundo, Oceanía con el 3%, Asia con el 2% y Europa y la Comunidad de Estados Independientes con el 34%. Por su parte, ITTO certificó el 5% del área forestada mundial en el año 2006 [44].

En términos globales, la creciente preocupación sobre abastecimiento de madera de zonas ordenadas de manera sostenible está alentando la adopción de certificación forestal en África. Sin embargo, el alcance de la certificación sigue siendo bajo debido a los altos costos de transacción. En 2007 África tenía aproximadamente 3 millones de hectáreas certificadas (1% del total mundial), mayormente de bosque implantado. En ese mismo año, América Latina y el Caribe contaban con unas 12 millones de hectáreas de bosques certificados, lo que representa un 4% de todos los bosques certificados en el mundo. Casi el 80% fue certificado por el FSC, y el resto bajo sistemas de certificación nacionales, por ejemplo CERFLOR y CERTFOR, que está afiliada al PEFC. CERFLOR de Brasil tiene normas diferentes para los bosques naturales y los implantados [25]. Bolivia es uno de los países latinoamericanos líderes en adoptar el proceso de certificación. Este país certificó 2 millones de hectáreas por FSC, lo que corresponde a un cuarto de su superficie forestal [10].

El CERTFOAR es un sistema de certificación coherente con la realidad forestal argentina, desarrollado en forma abierta y participativa, que recoge la experiencia acumulada por distintas instituciones forestales argentinas y que facilita la expansión de la certificación de la gestión forestal sostenible a los pequeños y medianos productores, así como a los bosques nativos [42]. En el año 2014 Argentina se convirtió en el cuarto país latinoamericano que posee un sis-

tema nacional de certificación forestal homologado por el PEFC, junto a Chile, Brasil y Uruguay. Argentina tiene menos del 1% de sus 28 millones de hectáreas de bosque natural certificado, pero se espera que este porcentaje aumente, tanto para bosque nativo como para bosque implantado [45].

5. El uso integral del recurso forestal

El sector forestal puede considerarse como un sistema que toma sus decisiones socioeconómicas y ambientales en función del uso de ecosistemas cuyo componente dominante son los árboles. Estos ecosistemas presentan distintos grados de intervención y generan múltiples productos y servicios ambientales, como consecuencia del desarrollo de una serie de actividades que se aplican de acuerdo a un régimen de ordenación y planeamiento con objetivos bien definidos [46]. La gestión de los servicios ambientales vinculados a los bosques cobra cada vez mayor importancia debido a los conflictos que se generan entre las comunidades beneficiarias de dichos servicios y los propietarios o poseedores de los bosques. Cuando los productos forestales proceden de un bosque certificado, gestionado de manera responsable, se promueve la mejora del hábitat de las especies de flora y fauna, se respetan los derechos indígenas y sus tierras, y se mantienen los servicios que brindan los bosques [47].

Bajo el concepto de cluster, el sector forestal comprende un conjunto de actores que se relacionan entre sí de manera armónica y sinérgica, recibiendo insumos y generando productos para otros sectores en el contexto del sistema económico local, nacional e internacional [46]. Existe, por lo tanto, una cercanía entre empresas, creando sinergias que en otras circunstancias no existirían, con lo cual la competitividad de una determinada empresa específica es potenciada por la competitividad conjunta del grupo de empresas y actividades que conforman el cluster al cual pertenecen. Estos clusters, caracterizados por formarse en torno a una actividad, le confieren una clara ventaja competitiva natural [48]. Cuando una actividad económica funciona de manera tal que puede ser definida como cluster, es porque logró superar una serie de factores, producto del crecimiento propio de la actividad, hasta alcanzar una máxima eficiencia, la cual evoluciona según las condiciones internas del país y del resto del mundo [49]. El conocimiento de cada uno de los factores que hacen a una determinada acti-

vidad es una herramienta clave en el proceso de toma de decisiones para mejorar la competitividad de los sistemas productivos, desarrollando las capacidades locales a través de clusters [50]. Existen ciertas características asociadas a la formación de clusters (figura 5) [5]. Muchos gobiernos y usuarios del recurso forestal han encontrado en los bosques valores y oportunidades que anteriormente no se reconocían. Este cambio de actitud político-institucional permite el desarrollo de avances importantes en el manejo, la conservación y el uso sostenible de los bosques, dando a esta industria el status y participación en el mercado que tiene actualmente a nivel mundial. Esto constituye un cambio de paradigma dentro del contexto político, económico y social con respecto al manejo de los recursos naturales, hacia visiones caracterizadas por una mayor preocupación ambiental, organización e inclusión social [51].

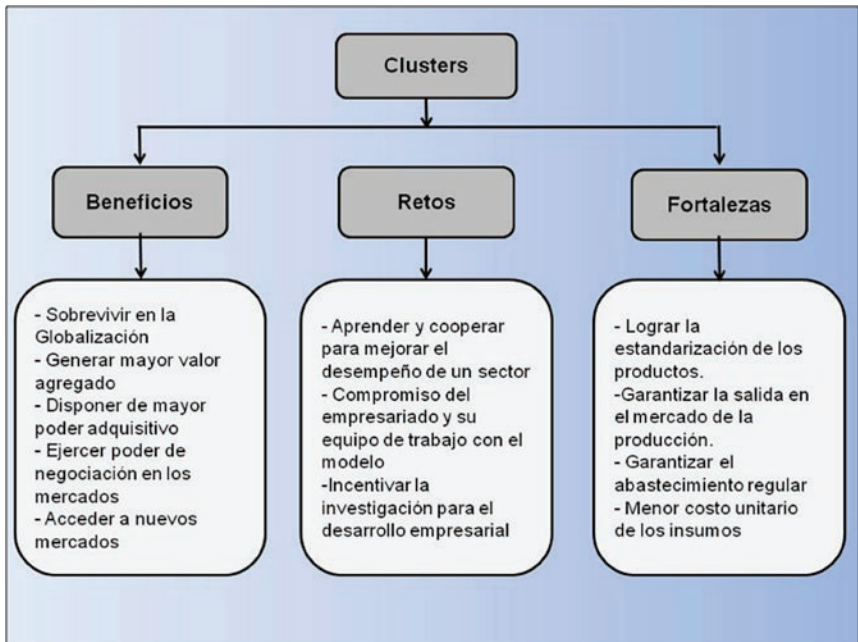


Figura 5: Características asociadas a los clusters. (Adaptado de [5]).

Los clusters forestales de países como Suecia, Finlandia, Alemania, Chile se enfocaron en producir productos de alto valor agregado provenientes de madera sólida, productos maderables procesados y pulpa/papel. Probablemente, el caso más exitoso de cluster forestal sea el mundialmente conocido “cluster finlandés”, El cluster finlandés de la madera en el 2003 representó el 10 % de su PBI, el 30% de su producción industrial y el 29% de sus ingresos por exportaciones, teniendo una importancia mayor que el sector electrónico y el metalúrgico. En Finlandia las industrias forestales consumen aproximadamente 1/3 del consumo eléctrico nacional, pero también generan energía, ya que el 45% de sus necesidades proceden de cogeneración propia [37]. En el clúster finlandés se verifican todos y cada uno de los beneficios y fortalezas que vienen asociados a los cluster, ya que fueron capaces de vencer todos los retos que ellos representan.

América Latina y el Caribe pretenden aumentar la competitividad diseñando estrategias nacionales de competitividad basadas en la metodología de clusters. Costa Rica, Guyana, Panamá son ejemplos de países donde existen políticas específicas para el fortalecimiento del sector forestal bajo estos principios [52]. La mayoría de los países de América Latina tuvieron cambios en sus políticas forestales y ambientales desde la década de 1990 sobre la base de los principios de la United Nations Conference on Environment and Development (UNCED). México actualizó sus políticas ambientales y forestales en la década de 1990 y preparó una Estrategia de Desarrollo Forestal en 2001; Brasil y Colombia completaron sus planes forestales nacionales en el año 2000. Por el contrario, Chile y Argentina carecen de un ejercicio integral a nivel nacional en este sentido, sino que tienden a basarse en el enfoque tradicional en lugar del modelo de clúster. Brasil es el líder en el desarrollo de plantaciones en América Latina y mantiene su posición por medio de continuas inversiones y programas de investigación y desarrollo. El Programa Nacional Forestal, lanzado en octubre de 2000, incluye un sub-programa especial para plantaciones industriales y ambientales, con el fin de mejorar la disponibilidad de madera, pero también los servicios ambientales en el futuro. Los dos clusters forestales principales de Brasil son la región amazónica y la región sur sureste; juntos contribuyen enormemente al potencial notable para el desarrollo forestal de ese país [53]. En el año 2005 se generó en Argentina el “Aglomerado Productivo Forestal”, con el propósito de promover la competitividad de las PyMEs locales y de profundizar la sinergia entre los estamentos público,

privado y científico tecnológico vinculados al cluster. Este “Aglomerado Productivo Forestal”, nuclea empresas e instituciones de las provincias de Corrientes y Misiones, reuniendo cerca del 80% de la actividad a nivel nacional, tanto en superficie de plantaciones como en industrias y procesos involucrados. En la provincia de Misiones la foresto-industria encabeza los procesos de ocupación territorial, de generación de empleo, de desarrollo económico y, fundamentalmente, de inversión y crecimiento, lo que posibilita la generación de recursos adicionales de gran envergadura [50].

El camino hacia el desarrollo sostenible y la renovabilidad de los recursos pasa por la búsqueda del aprovechamiento integral de la biomasa forestal. Además de su alta capacidad de producción, se revela como una fuente necesaria de materias primas debido a su ubicuidad, disponibilidad, y carácter no contaminante. Dado el declive de las fuentes de combustibles fósiles, la biomasa forestal está reconocida en el mundo como la mayor fuente potencial de energía renovable. Su aprovechamiento íntegro permite además, la disposición de una amplia variedad de productos químicos, cuyo desarrollo precisa de la integración de todas las etapas, desde el cultivo y recolección hasta las etapas de fraccionamiento y conversión a diferentes productos [54].

El concepto de industria integrada más reciente se ha dado en llamar “Biorrefinería forestal”. La biorrefinería puede definirse como el uso eficiente del potencial total de la materia prima y procesos del sector forestal, para la potenciación del valor añadido de los productos, por cooperación dentro y entre las cadenas de valor. Este concepto involucra el logro de una producción forestal sustentable, aprovechando la totalidad del árbol y de los residuos de su industrialización. La biorrefinería genera mayor valor a la materia prima del sector forestal, en forma de productos clásicos, productos químicos y energía [55].

Conclusiones

Cada vez más bosques del mundo son manejados bajo estrictas normas de ordenamiento y planeamiento forestal. El ordenamiento de los bosques desempeña muchas funciones socioambientales y económicas a escala local, nacional e internacional. Las distintas políticas en relación al recurso ponen en manifiesto el creciente interés internacional en el manejo sostenible de los bosques y el reconocimiento de los servicios que estos brindan.

Los países alrededor del mundo buscan sacar el mayor provecho de sus recursos naturales bajo políticas que sean respetuosas con el medio ambiente y socialmente aceptadas. Es evidente, por los cambios y características de los proyectos forestales, que el progreso tecnológico y económico puede tener un desarrollo articulado y conjunto con los criterios de cuidado ambiental del recurso. Es totalmente factible pensar en un crecimiento industrial que interactúe de diferentes formas con los sistemas naturales.

Los clusters se destacan como una propuesta de sostenibilidad de la industria a partir del aprovechamiento integral de la materia prima, fomentando el crecimiento de la industria forestal y de las áreas forestadas como fuentes de materia prima renovable y como pulmones ecológicos regionales. Los clusters potencian la transferencia de conocimiento y la sinergia entre empresas, logrando asimismo una mejor comunicación y aceptación social.

La biorrefinería forestal involucra los conceptos más modernos de sostenibilidad de la industria forestal a partir del uso integral del árbol.

Referencias

- [1] M. C. Area, C. R. Antunez, P. Mutje, and M. A. Pelach, “La industria de pulpa y papel y el medio ambiente. Capítulo X,” in *Panorama de la industria de celulosa y papel en Iberoamérica*, 2008, pp. 393–443.
- [2] C. Reboratti, *Ambiente y Sociedad. Conceptos y Relaciones*, Ariel. La Plata, Buenos Aires, 2000, p. 245.
- [3] G. Brundtland, *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*, Oxford Uni. Oxford, 1987, p. 43.
- [4] G. Espinoza, *Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. 2001.
- [5] L. H. Perego, “Competitividad a partir de los Agrupamientos Industriales. Un Modelo Integrado y Replicable de Clusters Productivos. Tesis.” p. 105, 2003.
- [6] D. A. Sonnenfeld, *Social Movements and Ecological Modernization: The Transformation of Pulp and Paper Manufacturing*, Blackwell. Cowley Road, 1999.
- [7] ASPAPEL Naturalmente Papel, “Memoria de sostenibilidad. Sector papel.” p. 72, 2005.
- [8] M. C. Area, G. Mastrantonio, and H. Velez, “Gestión ambiental en la fabricación de papel reciclado,” 1995.
- [9] ASPAPEL Naturalmente Papel, “Informe medioambiental. El ciclo sostenible del papel.” p. 49, 2002.
- [10] UNEP FAO UNFF, *Vital Forest Graphics*. 2009.

- [11] INTA, “Medir el carnono. Al camino a la salud ambiental. Revista de Investigaciones Agripecuarias.” 2011.
- [12] J. Smith and S. J. Scherr, *Forest Carbon and Local Livelihoods: Assessment of Opportunities and Policy Recommendations*, Center of., no. 37. Indonesia, 2002, p. 56.
- [13] FAO, *Las posibilidades de financiación del carbono para la agricultura, la actividad forestal y otros proyectos de uso de la tierra en el contexto del pequeño agricultor*. 2010.
- [14] Finanzas carbono Plataforma sobre financiamiento climático para Latinoamérica y el Caribe, “El mercado de carbono europeo (EU ETS),” <http://finanzascarbono.org/mercados/acerca/comercio-emisiones/ets/>, 2009. .
- [15] Comisión Europea Medio Ambiente, “Mercado del carbono: el RCDE de la UE revisado cumple sus objetivos. Comisión Europea,” http://ec.europa.eu/environment/news/efe/articles/2015/03/article_20150313_01_es.htm, 2014. .
- [16] FAO, *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010 Informe principal*. 2010.
- [17] C. Cossalter and C. Pye-smith, *Fast-Wood Forestry Myths and Realities*, Indonesia. Indonesia, 2003.
- [18] International Finance Corporation World Bank Group, “Forest Plantations on Degraded Lands. Promoting sustainable forestry improving lives.” pp. 2–5, 2009.
- [19] PNUMA, *Eficiencia en el uso de los recursos en América Latina: Perspectivas e implicancias económicas*. p. 2011.
- [20] FAO, *Global Forest Resources Assessment 2005. UNECE Regional Database*, vol. 2005, no. February. 2006.
- [21] FAO, *The State of Food and Agriculture*. 2012.
- [22] FAO, *Agricultura mundial: hacia los años 2015/ 2030. Informe resumido*. 2002.
- [23] FAO, *El estado de los bosques del mundo 2012*. 2012.
- [24] FAO, *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. Como gestionar los sistemas en peligro*. 2011.
- [25] FAO, *State of the World's Forests 2009*. 2009.
- [26] FAO, *Planted forest in sustainable forest management. A statement of principles*. 2010.
- [27] J. Douglas and M. Simula, *The future of the world's forest. Ideas vs Ideologies. Vol II*, Springer. 2010.
- [28] C. Zaror, O. Parra, and P. González, “Desafíos tecnológicos y Ambientales para la gestión sustentable del sector forestal en los países de América Latina y el Caribe. Universidad de Concepción, Centro Universitario Internacional Europa - Latinoamérica de Investigación y Formación en Ciencias.” Chile, pp. 153–199, 1998.
- [29] Organización Internacional del Trabajo, *La dimensión social y laboral de los cambios en las industrias de la silvicultura y de la madera . Informe TMFWI / 2001*, OIT., no. 2000. Ginebra, 2001, p. 141.
- [30] H. Schneider and J. L. Samaniego, *CEPAL La huella del carbono en la producción , distribución y consumo de bienes y servicios*, Publicació. Santiago de Chile, 2009.
- [31] *Hacia una economía verde. Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza. Síntesis para los encargados de la formulación de políticas. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)*. 2011.

- [32] The World Bank, *Global Issues for citizens: An introduction to key development challenges*. 2006.
- [33] P. Dasgupta, “Sustainable economic development in the world of today’s poor. University of Cambridge,” no. September. 2002.
- [34] R. Claves, *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales. 15 resultados claves*. FAO. 2005, p. 8.
- [35] The World Bank, *Sustaining forest. A development strategy*. 2004.
- [36] FAO, *Challenges and opportunities for carbon sequestration in grassland systems A technical report on grassland management and climate change mitigation Compiled by*. 2010.
- [37] CEPAL, “Forestal. Finlandia , un modelo forestal que se mantiene en el tiempo.” pp. 14–23.
- [38] The World Bank, “Where Is the Wealth of Nations? Measuring Capital for the XXI Century.” p. 184, 2005.
- [39] R. Costanza, R. Arge, R. De Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O. Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, and P. Sutton, “The value of the world’s ecosystem services and natural capital,” *Nature*, vol. 387, no. May, pp. 253–260, 1997.
- [40] FAO, *Forestry and energy. Key issues*. 2008.
- [41] FAO, *Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe*. 2006.
- [42] Consultoría Manejo Forestal Sostenible y Comunidad., “Informe del Objetivo: Certificación Forestal Voluntaria. Productos 5,6 y 7.” pp. 1–33, 2010.
- [43] Foresto Industrial El país, “Homologación internacional del Sistema Argentino de Certificación Forestal,” <http://caa.nearural.com/ampliar.php?id=25742> .
- [44] ITTO, *Developing forest certification*, no. May. 2008.
- [45] C. for our forests Globally, “Forest Owners in Argentina Can Now Benefit from International Recognition,” <http://www.pefc.org/news-a-media/general-sfm-news/1625->, 2014.
- [46] FAO, *Estudio de tendencias y perspectivas del Sector Forestal en América Latina Documento de Trabajo. Informe Nacional Guatemala*. 2004.
- [47] Greenpeace, “Guía de la buena madera. Como usar madera sin destruir los bosques.” .
- [48] CEPAL, *Apertura económica y (des) encadenamientos productivos*. 2001, p. 387.
- [49] A. M. Gómez Chávarry, “Competitividad y cluster , de la teoría a la práctica.” 1999.
- [50] Finanzas Carbono Plataforma para el financiamiento climático para Latinoamérica y el caribe, “Plan de Mejora competitiva.” 2013.
- [51] FAO, *Casos ejemplares de manejo forestal sostenible en América Latina y el Caribe*. 2010.
- [52] CEPAL, “Políticas sectoriales y de desarrollo de clusters en América Latina y el Caribe.” 2004.
- [53] M. Bonita, F. Correa, P. Veijalainen, and H. Ahveninen, *Forest Clusters: A Competitive Model for Latin America*, no. March. 2002.
- [54] F. Lopez, J. C. García, M. J. Feria, M. Zamudio, and A. Pérez, “Biorrefinería de materiales lignocelulósicos. Eucalyptus globulus. Boletín del CIDEU.” pp. 75–82, 2010.
- [55] M. C. Area and M. E. Vallejos, *Biorrefinería a partir de residuos lignocelulósicos. Conversión de residuos a productos de alto valor*, Editorial . Saarbrücken, Alemania, 2012, p. 191.

IV

CELULOSA BACTERIANA

Sara M. Santos, José M. Carbajo, J. Carlos Villar¹

La celulosa no es sólo el componente mayoritario de la biomasa de las plantas, sino que también la producen otros organismos como algas marinas y organismos procariotas. En los últimos años la celulosa de origen bacteriano (Celulosa Bacteriana, CB) ha ganado importancia debido a sus extraordinarias propiedades. La CB es un polímero extracelular insoluble, que es producido por varias especies de bacterias, como las pertenecientes a los géneros *Acetobacter*, *Rhizobium*, *Agrobacterium* y *Sarcina* (Jonas y Farah, 1998).

El género *Acetobacter* engloba un grupo de bacterias con habilidad para oxidar azúcares y etanol generando ácido acético. Entre los productores más eficaces de celulosa figuran *A. xylinum*, *A. hansenii* y *A. pasteurianus*. De entre ellos *A. xylinum* se ha tomado como organismo modelo para los estudios básicos y aplicados sobre CB, debido a su habilidad para producir, partiendo de diversas fuentes de carbono, altos niveles del polímero como producto primario de su metabolismo. Posteriormente esta especie fue re-clasificada e incluida en el nuevo género *Gluconacetobacter* como *Gluconacetobacter xylinus* (Yamada *et al.*, 1998), mientras que su cepa G. *xylinus* BPR2001, de alta capacidad para producir celulosa (Toyosaki *et al.*, 1995),

1. Laboratorios de Celulosa y Papel. INIA-CIFOR. Ctra. de La Coruña Km 7; 28040 Madrid. España
villar@inia.es

fue considerada una especie diferente y renombrada *Gluconacetobacter sucrofermentans* (Cleenwerck *et al.*, 2010). Entre sus hábitats naturales se incluyen frutas y verduras en descomposición, zumos y disoluciones alcohólicas (Franke-Whittle *et al.*, 2005).

La estructura molecular de la celulosa que sintetiza *G. sucrofermentans* es idéntica a la de la celulosa vegetal, sin embargo, y a diferencia de ésta, la CB se halla en la naturaleza con un elevado grado de pureza, libre de lignina, hemicelulosas y pectinas (Bielecki *et al.*, 2002). Otra importante diferencia se encuentra en su estructura, que la confiere propiedades físico-químicas que la distinguen de la celulosa vegetal, como su elevada cristalinidad, durabilidad, resistencia mecánica, moldeabilidad y biocompatibilidad (Klemm *et al.*, 2001). Gracias a esas propiedades, resultado de una estructura reticulada ultrafina, la CB ha encontrado numerosas aplicaciones en biotecnología, microbiología y ciencia de los materiales.

Aunque Brown ya en 1886 observó la síntesis de un material gelatinoso extracelular por *G. xylinus* (Yunoki *et al.*, 2004), no fue hasta la segunda mitad del siglo XX cuando se empezaron a efectuar ensayos más sistemáticos sobre CB. Hestrin y Schramm (1954) probaron que tras ser liofilizadas, células de *A. xylinum* sintetizaban celulosa en presencia de glucosa y de oxígeno. Posteriormente Colvin (1957) detectó esta síntesis en muestras que contenían extractos de células de *G. xylinus*, glucosa y ATP. Actualmente los estudios sobre CB y sobre las bacterias productoras se han ampliado considerablemente, y hoy se dispone de numerosos estudios que han dado a conocer aspectos como la forma de crecimiento de la CB, su estructura y propiedades, las condiciones más favorables para su producción o las aplicaciones que se han propuesto en diversos ámbitos. Este trabajo resume lo más destacado del conocimiento actual sobre celulosa bacteriana.

Funciones fisiológicas

En sus hábitats naturales, muchos microorganismos sintetizan polisacáridos extracelulares que envuelven sus células. *G. sucrofermentans* es capaz de producir CB sobre medios líquidos y sólidos con la misión fundamental

de protección mecánica, química y biológica. Las células productoras de celulosa quedan así atrapadas en la red del polímero, que forma una película sobre la superficie del medio, permitiendo al organismo obtener con mayor facilidad el oxígeno necesario para su crecimiento (Ross *et al.*, 1991). La CB es también responsable de la adherencia de las células a las superficies y facilita el suministro de nutrientes por difusión a través de ella (Costerton *et al.*, 1999). La viscosidad y naturaleza hidrofílica que muestra la CB durante su formación, hacen que incremente la resistencia del microorganismo productor frente a cambios desfavorables como descenso en el contenido de agua, variaciones de pH, aparición de sustancias tóxicas, organismos patógenos, *etc.*, y aporta también protección frente a la radiación UV (Koo *et al.*, 1998). Se ha propuesto que la CB sintetizada por *G. sucrofermentans* desempeña, además, el papel de almacén de alimento, que el microorganismo podría utilizar en caso de necesidad. La presencia de exo- y endo-glucanasas en el caldo de cultivo de algunas fermentaciones apoyarían esta suposición (Bielecki *et al.*, 2002).

Crecimiento, estructura y características de la celulosa bacteriana

Aunque la celulosa bacteriana es químicamente idéntica a la celulosa vegetal, polímero lineal cuya unidad estructural es la molécula de celobiosa, presenta diferencias significativas respecto a su conformación estructural y propiedades físicas (Keshk *et al.*, 2006). Además, en el caso de la CB, su macro-estructura es también dependiente de las condiciones de cultivo (Yamanaka *et al.*, 2000). Así, en cultivo estático se genera una película en la interfase aire/líquido del medio, mientras que un cultivo agitado da lugar a una dispersión en el líquido de glómerulos de celulosa.

Las cadenas de celulosa surgen de los poros alineados de la célula bacteriana y forman subfibrillas de aproximadamente 1,5 nm de ancho que cristalizan en microfibrillas en el medio de cultivo (Jonas y Farah, 1998). Estas microfibrillas se agrupan en paquetes, y estos últimos en cintas o fibras (Yamanaka *et al.*, 2000) que, según estos autores, tienen unas dimensiones de 4 nm de espesor x 117 nm de anchura, mientras que Zaar (1977) estima que

su longitud puede alcanzar 20 μm . Durante el crecimiento bacteriano se generan nuevos focos de producción de CB que ensanchan estas fibras. En el momento de la mitosis celular, esos sitios de producción de CB se reparten entre las dos células hijas, lo que también incrementa el ancho de la fibra. La geometría de estas fibras no es, por tanto, lineal sino que contiene “puntos de ramificación de tres vías” a lo largo de su longitud ocasionados por la bifurcación debida a la mitosis celular. Estas cintas de CB recién generadas van girando en el medio y se entrelazan con cintas producidas por otras células para formar una capa gelatinosa (Brown, 1996). A su vez, las capas se disponen paralelamente y las contiguas se unen entre ellas tanto por enlaces de hidrógeno (Brett, 2000) como por fuerzas de Van der Waals. Cuando se elimina el agua existente entre las capas, se forman nuevos enlaces entre los grupos hidroxilo de capas adyacentes y se forma una lámina donde la cristalinidad es superior al 60% (Colvin y Leppard, 1977). Al final de este proceso el material se ha convertido en una estructura reticulada, con un elevado número de enlaces intramoleculares que proporcionan una elevada resistencia mecánica en seco y en húmedo (Jonas y Farah, 1998) y donde el grado de polimerización puede oscilar entre 16.000 y 20.000 unidades (Watanabe *et al.*, 1998b), frente al de la celulosa vegetal, que se aproxima a las 15.000 unidades en la celulosa de algodón.

El diámetro de las microfibrillas de CB, más pequeño que en el caso de las fibras vegetales, hace que la CB hidratada sea mucho más porosa. La presencia de estos poros y túneles dentro de la película hidratada da como resultado una estructura fibrosa hinchada, con valores de retención de agua del 1000%, frente al 60% en la celulosa vegetal. Esta elevada capacidad de retención de agua determina muchas de sus aplicaciones. Así, por ejemplo, facilita la transmisión de antibióticos u otras sustancias, mientras que el polímero es una eficiente barrera física contra infecciones externas. Una vez purificada, la celulosa bacteriana es metabólicamente inerte, no tóxica, no alergénica, biocompatible y biodegradable (Duvey y Saxena, 2002). Otras características de la CB en comparación con las de la celulosa vegetal aparecen descritas en la tabla 1.

Característica	Celulosa Bacteriana		Celulosa Vegetal	
Dimensiones de las cadenas	70-80 nm	Yamanaka <i>et al.</i> 1989	Pino: 3,0-7,5*10 ⁻² mm	Bielecki <i>et al.</i> 2002
	133 nm	Bielecki <i>et al.</i> 2002	Abedul: 1,4-4,0*10 ⁻² mm	Bielecki <i>et al.</i> 2002
Grado de polimerización	16.000-20.000	Bielecki <i>et al.</i> 2002	13.000-14.000	Bielecki <i>et al.</i> 2002
Módulo de Young (KPa)	4,9	Yamanaka <i>et al.</i> 1989	Algodón: 0,085	Yamanaka <i>et al.</i> 1989
Temperatura de degradación (°C)	200-270	Yamanaka <i>et al.</i> 1989	Algodón: 150	Yamanaka <i>et al.</i> 1989

Tabla 1. Comparación entre Celulosa Bacteriana y Celulosa Vegetal

Producción de celulosa bacteriana

Los estudios recientes sobre el mecanismo de síntesis de CB, su estructura y propiedades, han puesto de manifiesto que su producción depende estrechamente del método de cultivo (estático o agitado), de las fuentes de carbono y de nitrógeno, del pH y de la temperatura. Schramm y Hestrin (1954) realizaron, a mediados del siglo pasado, uno de los primeros trabajos sobre CB en el que concluyeron que su producción depende de la disponibilidad de oxígeno, tanto para cultivo estático como agitado. Comprobaron que bajo una atmósfera de nitrógeno no se producían cantidades significativas de CB mientras que con aire enriquecido en oxígeno la producción alcanzaba máximos. Desarrollaron también un medio de cultivo que, aún hoy, sigue usándose y que es referencia para estudios sobre CB. La composición de este medio (conocido como medio HS) es glucosa 2% (p/v), peptona 0,5%, extracto de levadura 0,5%, fosfato disódico 0,27%, y ácido cítrico 0,115%.

El medio de cultivo utilizado para el crecimiento de la bacteria y para la producción de celulosa debe de contener carbono, nitrógeno y otros macro y micro nutrientes. Se han ensayado diferentes tipos de fuentes de carbono (mono y oligosacáridos, alcoholes o ácidos) para maximizar la producción de CB con distintas cepas de *G. xylinum*. Así, para la cepa de *G. xylinus* ATCC 53524 los rendimientos de CB son más altos con sacarosa y glicerol (Mikkelsen *et al.*, 2009). La sacarosa también dio el mejor resultado para *Acetobacter* sp. 4B-2 (Pourramezan *et al.*, 2009) y el glicerol para *G. xylinus* ATCC 10245 (Kesh y Sameshima, 2005); mientras que la glucosa es la mejor fuente de carbono hallada para *Acetobacter lovaniensis* HBB5 (Çoban y Biyik, 2011).

La producción de CB también puede mejorarse con una elección adecuada de la fuente de nitrógeno. Así, Coban y Biyik (2011) seleccionaron el extracto de levadura para la producción de CB por *Acetobacter lovaniensis* HBB5, mientras que Tsuchida y Yoshinaga (1997) y Rani y Appaiah (2011) comprobaron que el extracto de maíz es eficaz para *G. sucrofermentans* y para *G. hansenii* UAC09, respectivamente.

El efecto combinado de las fuentes de carbono y nitrógeno en la producción de CB ha sido menos estudiado. Ramana *et al.*, (2000) propusieron distintas combinaciones para producir CB con *A. xylinum* y las mejores opciones fueron usar sacarosa o manitol como fuente de carbono y peptona y el hidrolizado de caseína como fuente de nitrógeno (frente al sulfato de amonio y la harina de soja). Naritomi *et al.* (1998) observaron que un suplemento de un 1% de etanol a un medio que contenga fructosa incrementa la producción de CB por *G. sucrofermentans* BPR3001A. El estudio sugiere que el etanol actúa como fuente de energía para la generación de ATP, incrementando así la producción de CB. Resultados similares se encuentran en estudios con *G. hansenii*, (Park *et al.*, 2003) y con *A. xylinum* ATCC 10245 (Yunoki *et al.*, 2004). Un porcentaje de etanol en exceso inhibe el crecimiento celular y reduce la generación de CB (Naritomi *et al.*, 1998; Park *et al.*, 2003).

De los estudios anteriores se desprende que no hay un patrón evidente de comportamiento que permita seleccionar de antemano las fuentes de carbono y nitrógeno para una cepa dada. Además, en la mayoría de los estudios el criterio de selección ha sido la tasa de producción de CB, sin tener en cuenta el uso previsto. Y como la CB ha mostrado resultados prometedores en áreas tan diversas

como la medicina o la ciencia de los materiales, el criterio de calidad también debe ser incorporado a la selección. Por ejemplo, en el área de restauración de papeles, parámetros tales como la resistencia mecánica, la blancura o el envejecimiento deben ser considerados. Santos *et al.* (2013) optimizaron las fuentes de carbono y nitrógeno para la producción de láminas de CB para dicho uso, y evaluaron el efecto en ellas de un aporte del 1% de etanol (fig. 1). Algunos estudios han comprobado las propiedades mecánicas del papel hecho mezclando un pequeño porcentaje de CB con celulosa vegetal (Surma-Slusarska *et al.*, 2008; Basta y El-Saied, 2009; Gao *et al.*, 2011), pero hay pocos estudios sobre papel hecho exclusivamente de CB (Yamanaka *et al.*, 1989; Gea *et al.*, 2011).

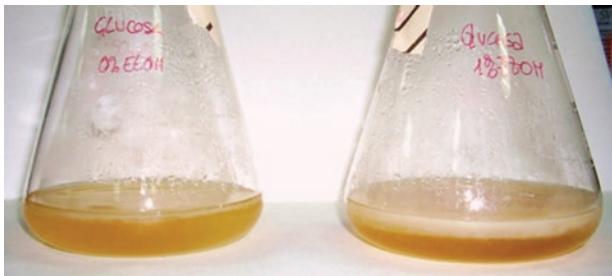


Figura 1. Efecto de la adición de etanol (matraz derecho) en la producción de CB.

Para la mayoría de las especies, los valores óptimos de pH del cultivo se sitúan entre 4 y 8, con la mayor eficacia localizada a un pH próximo a 6,5 (Son *et al.*, 2001; Çoban y Biyik, 2011). El control del pH es especialmente importante en cultivos estáticos, para evitar la acumulación de ácidos glucónico, acético o láctico, que disminuirían en exceso el pH. Las temperaturas más adecuadas para el cultivo se sitúan en el intervalo 28 - 30°C (Son *et al.*, 2001).

La elección de la técnica de cultivo depende del uso que se vaya a dar a la CB. En cultivo estático la celulosa se acumula formando una película en la superficie del medio de cultivo. En un primer momento el microorganismo incrementa su población consumiendo el oxígeno disuelto en el medio de cultivo, a la vez que las bacterias comienzan a sintetizar celulosa. Con el progreso de la fermentación aumenta el espesor de la membrana mediante la incorporación de nuevas capas de CB que se en-

lazan entre sí (Klemm *et al.*, 2001). Cuando se agota el oxígeno disuelto en el medio, sólo las bacterias que se encuentran en las inmediaciones de la interfase aire/medio de cultivo pueden mantener su actividad productora, mientras que las bacterias que permanecen en la fase líquida se encuentran en un estado de letargo, aunque pueden ser reactivadas y usadas como inóculo en una fermentación posterior. Klemm *et al.*, (2001) postularon la existencia de tres zonas en la celulosa generada: superficial, intermedia e inferior. La zona inferior es la que primero se ha producido, y donde la densidad de celulosa es menor, ya que la producción está asociada al crecimiento celular (bajo en los primeros días de cultivo). La zona media tiene una mayor población bacteriana y mayor densidad de la celulosa. La zona superficial se caracteriza por ser una estructura compacta y con alta población bacteriana.

El inconveniente de los cultivos estáticos es que requieren tiempos largos de fermentación y una gran área superficial, por lo que no resultan prácticos para producciones a gran escala. No obstante la CB obtenida en cultivo estático da lugar a membranas con interés para su uso en ámbitos como la medicina o las membranas de separación (Czaja *et al.*, 2004; Chawla *et al.*, 2009).

Las fermentaciones en cultivo agitado alcanzan mayores producciones que en cultivos estáticos y dan lugar a pellets de celulosa o a aglomeraciones amorfas de las fibras, dependiendo del tipo de reactor empleado. Dado que la producción de CB depende directamente del crecimiento de las bacterias, el aporte de oxígeno aumenta la población celular y la producción, si bien un aporte excesivo causa una pérdida de sustrato por oxidación y la consecuente disminución de productividad (Yamanaka *et al.*, 1989). Las turbulencias durante la generación de CB afectan negativamente a la polimerización y cristalización de la celulosa, reduciendo la formación del polímero (Zuo *et al.*, 2006), aunque puede controlarse optimizando la agitación y la aireación. Los cultivos agitados pueden realizarse por lotes o en continuo, utilizándose reactores de tanque agitado o reactores “air-lift”. El principal inconveniente con los reactores de tanque agitado es la gran cantidad de energía que se necesita para mantener un buen mezclado (Kouda *et al.*, 1997). Otras configuraciones de reactores para el cultivo agitado han sido estudiadas por Chao *et al.* (2000) con reactores de columna de burbujeo, y por Serafica *et al.* (2002) con variantes de reactores de tambor rotatorio.

La celulosa obtenida tras la fermentación contiene impurezas tales como cé-

lulas y/o componentes del medio de cultivo. Los métodos de lavado que se han probado están basados en tratamientos con álcali (NaOH, KOH), ácidos orgánicos, dodecil sulfato de sodio (SDS) y Na_2CO_3 , o lavados repetidos con agua. Las etapas de purificación anteriores se pueden efectuar en distintos tiempos y pueden realizarse solas o combinadas (Bielecki *et al.*, 2005). El tratamiento con disoluciones alcalinas, tales como NaOH, KOH o Na_2CO_3 , a altas temperaturas se utiliza para lisar las células microbianas atrapadas en la CB. Tras este tratamiento se debe lavar con agua destilada en repetidas ocasiones para eliminar los materiales disueltos (fig. 2).



Figura 2. Lámina de CB antes (izda.) y después (dcha.) de su purificación con 1% NaOH.

El uso médico de la CB requiere procedimientos de purificación especiales para eliminar tanto las células bacterianas como las toxinas. Uno de los protocolos más eficaces es procesar la capa de CB entre hojas absorbentes para eliminar alrededor del 80% del agua, sumergirla después en NaOH al 3% durante 12 horas (se repite tres veces) y después en disolución de HCl al 3%. Tras un prensado y lavado con agua destilada, se esteriliza en autoclave mediante radiación con ^{60}Co . Cuando la purificación se hace por inmersión en NaOH, hay que tener en cuenta que puede causar la transformación de la celulosa I en celulosa II, aunque Moigne y Navard (2010) indican que esto sólo ocurre con concentraciones de NaOH por encima del 6%. Los efectos del tratamiento alcalino en las propiedades mecánicas de la celulosa no están del todo esclarecidos. Para George *et al.* (2005a) un tratamiento con NaOH 0,1 M disminuye las propiedades mecánicas en relación a las de la celulosa nativa. Mientras que Nishi *et al.* (1990) consiguieron mejorar las propiedades mecánicas de la CB con NaOH 1,25 M.

Aplicaciones

La celulosa está siendo utilizada en un amplio abanico de aplicaciones comerciales, incluyendo textiles, cosméticos y usos médicos, dando lugar a muchas patentes y ampliando el ámbito de investigación para poder ser utilizada en nuevas áreas. Muchas investigaciones se han enfocado en el mecanismo de síntesis del polímero así como en su estructura y en las propiedades que determinan su uso práctico (Czaja *et al.*, 2006; Park *et al.*, 2010). Son destacables sus propiedades mecánicas tanto en seco como en húmedo, porosidad, absorción de agua, biodegradación y excelente afinidad biológica (Shoda y Sugano 2005). Además es moldeable, su área y espesor pueden ser hechos a medida según las condiciones de cultivo y pueden hacerse modificaciones, relativamente sencillas, durante la biosíntesis para regular propiedades como la elasticidad, resiliencia o índice de cristalinidad.

Alimentación

El uso más antiguo conocido de la celulosa bacteriana es el alimento filipino denominado “nata de coco”. Debido a su textura y contenido en fibra se añade también a muchos alimentos dietéticos. Un ejemplo específico es el producto llamado Cellulon, agente de carga usado como reductor de calorías en ciertos alimentos. También se ha utilizado como aditivo en bebidas dietéticas en Japón desde 1992, específicamente kombucha, un tipo de té. Se usa también como espesante, estabilizante y ligante en muchos productos alimenticios (Thompson y Hamilton, 2001).

Medicina

En el campo de la medicina se han encontrado buena parte de las aplicaciones de la CB, una de ellas, como sustituto temporal de la piel para el tratamiento de heridas, quemaduras, úlceras y abrasiones en la epidermis (Czaja *et al.*, 2007). Para dotarla de un mayor efecto antimicrobiano, Maneerung *et al.*, (2008) desarrollaron un material compuesto de CB y nanopartículas de plata. Los estudios han demostrado que las quemaduras tratadas con revestimientos de celulosa microbiana han curado más rápido que los tratamientos tradicionales y dejando menos cicatrices. Las aplicaciones tópicas de CB son efectivas debido a su capacidad de retención de agua, que proporciona una atmósfera húmeda en el

sitio de la lesión, mientras que la permeabilidad al vapor de agua permite despejarla bien de la herida para ser eliminada. Se han patentado diversos productos, como XCell®, que se utiliza principalmente para el tratamiento de heridas de úlceras venosas. Otros productos comerciales son Biofill® y Gengiflex®, desarrollados como sustitutos temporales de la piel para cubrir heridas y en implantes dentales (Fontana *et al.*, 1990; Chawla, 2009).

Klemm *et al.* (2001) desarrollaron implantes vasculares para microcirugía gracias al diseño de un reactor que permite obtener celulosa bacteriana en forma tubular. Estos implantes presentan buena compatibilidad con los tejidos (Schumann *et al.*, 2008). La capacidad para ser moldeada ha permitido también su uso como reemplazo de estructuras para diferentes zonas, tales como el sistema cardiovascular, el tracto digestivo, tracto urinario, o la tráquea. Una aplicación reciente ha sido como vasos sanguíneos sintéticos. La CB se ha usado como soporte en ingeniería de tejidos, especialmente para reparar tejido cartilaginoso. En los trabajos de Brackmann *et al.* (2010), y Nwe *et al.* (2010), el soporte de celulosa presentó buena resistencia mecánica, además de permitir la proliferación de queratocitos humanos y de conservar su viabilidad. Para reemplazo de tejido óseo se ha formado un material compuesto con hidroxiapatito (Zaborowska *et al.*, 2010), y con alcohol polivinílico para implantes de córnea, mostrando biocompatibilidad, y ausencia de necrosis en el tejido implantado (Wang *et al.*, 2010).

Electrónica

En el campo de la electrónica se han desarrollado membranas de CB con alta conductividad eléctrica y dispositivos emisores de luz, incorporando para ello algunos metales en la estructura de la celulosa (Legnani *et al.*, 2008). Se han modificado algunas membranas con paladio y platino para ser utilizadas en celdas de combustible (Sun *et al.*, 2010). Otra aplicación comercial de la celulosa bacteriana son los transductores acústicos, dada la gran resistencia mecánica que adquiere la celulosa después de ser sometida a un tratamiento químico (Ciechańska *et al.*, 2002). Debido a su alta velocidad sónica y baja pérdida dinámica, la celulosa bacteriana se ha utilizado como una membrana o un filtro acústico en altavoces y auriculares de alta fidelidad, como el comercializado por la Corporación Sony.

Membranas de separación

La CB puede emplearse para la separación de soluciones acuosas, en técnicas tales como filtración molecular, ultrafiltración, diálisis, permeación con vapor y pervaporación (Shibazaki *et al.*, 1993; Sokolnicki *et al.*, 2006).

Papel

Algunos estudios han evaluado las propiedades mecánicas del papel que se obtiene al añadir un pequeño porcentaje de CB a las fibras de celulosa vegetal. Según Surma-Slusarska *et al.* (2008) este tipo de papeles tienen mejores propiedades mecánicas que los fabricados exclusivamente con celulosa vegetal. Así, si se efectúa la biosíntesis de CB en presencia de fibras vegetales aumenta la resistencia a la tracción y al desgarramiento, lo mismo que cuando se añaden películas de CB desintegradas a pastas de papel, o cuando se coloca una película de CB sobre una hoja de papel y se seca en un formador de hojas de laboratorio. Gao *et al.*, (2011) duplicaron los índices de desgarramiento y de estallido en un papel cuando añadieron un 5% de CB a una formulación de pasta.

Según Pommet *et al.*, (2008) cuando la biosíntesis de CB se realiza en presencia de fibras naturales, la formación de esa CB se efectúa preferentemente alrededor de las fibras. En experiencias más recientes, Santos *et al.* (2014) reforzaron papeles degradados mediante un proceso de laminación con una capa de CB (fig. 3), observando interacción entre los dos tipos de celulosa en la región de contacto. La CB, ordenada en forma más compacta que la estructura de fibras vegetales tiende a hacer haces de microfibrillas que enlazan ambas celulosas.

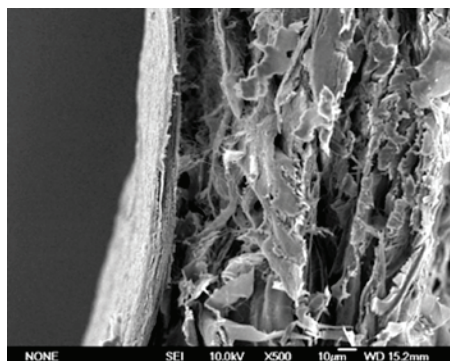


Figura 3. Depósito de capas de CB (izda.) sobre la superficie de un papel (dcha.).

La capacidad de refuerzo en los papeles ha permitido a Santos *et al.* (2014) proponer el uso de la CB para restaurar documentos degradados. Reforzaron con éxito papel de libros deteriorados, consiguiendo mejoras en las resistencias mecánicas que permanecen tras un proceso de envejecimiento acelerado. Un aspecto importante de este material en restauración es la mayor legibilidad que se obtuvo frente al de refuerzos con papel japonés de fibras de kozo (procedimiento habitual en restauración). En la figura 4 se aprecia como en los papeles reforzados con CB las letras se observan con mayor nitidez que las que están bajo la trama de fibras del papel japonés.



Figura 4. Detalle de la legibilidad de las letras en papeles restaurados con CB y con papel japonés.

Referencias

- Jonas R, Farah LF (1998). Production and application of bacterial cellulose, *Polym Degrad Stabil*, 59, 101-106.
- Yamada Y, Hoshino K, Ishikawa, T (1998). *Gluconacetobacter* nom. corrig. [*Gluconacetobacter* (sic)]. In validation of publication of new names and new combinations previously effectively published outside the IJSB. List no.64. *Int J Syst Bacteriol*, 48, 327-328.
- Toyosaki H, Naritomi T, Seto A, Matsuoka M, Tsuchida T, Yoshinaga F(1995). Screening of bacterial cellulose-producing *Acetobacter* strains suitable for agitated culture. *Biosc Biotechnol Biochem*, 59, 1498-1502.
- Cleenwerck I, De Vos P, De Vuyst L (2010). Phylogeny and differentiation of species of the genus *Gluconacetobacter* and related taxa based on multilocus sequence analyses of housekeeping genes and reclassification of *Acetobacter xylinus* subsp. *sucrofermentans* as *Gluconacetobacter sucrofermentans* (Toyosaki *et al.* 1996) sp. nov., comb. Nov. *Int J Syst Evol Microbiol* 60, 2277-2283.
- Franke-Whittle IH, O'Shea MG, Leonard GJ, Sly L (2005). Design, development, and use of molecular primers and probes for the detection of *Gluconacetobacter* species in the pink sugarcane mealybug. *Microb Ecol*, 50, 128-139.
- Bielecki S, Krystynowicz A, Turkiewicz M, Kalinowska H (2002). Bacterial cellulose. In: Biopolymers: vol. 5. Polysaccharides I. Steinbuechel A, (ed). Wiley-VCH. Munster. 37-90.
- Klemm D, Shuman D, Udhardt U, Marsch S (2001). Bacterial synthesized cellulose - artificial blood vessels for microsurgery. *Prog Polym Sci*, 26, 1561-1603.
- Yunoki S, Osada Y, Kono H, Takai M (2004). Role of ethanol in improvement of bacterial cellulose production: analysis using ¹³C-labeled carbon sources. *Food Sci Technol Res*, 10, 307-313.
- Hestrin S, Schramm M (1954). Synthesis of cellulose by *Acetobacter xylinum*. 2. Preparation of freeze-dried cells capable of polymerizing glucose to cellulose. *Biochem J*, 58, 345-352.
- Colvin JR (1957). Formation of cellulose microfibrils in a homogenate of *Acetobacter xylinum*. *Arch Biochem Biophys*, 70, 294-295.
- Ross P, Mayer R, Benziman M (1991). Cellulose biosynthesis and function in bacteria. *Microbiol Rev*, 55, 35-38.
- Costerton JW, Stewart PS, Greenberg EP (1999). Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. *Science*. 284, 1318-1322.

- Koo HM, Song SH, Pyun YR, Kim YS (1998). Evidence that a beta-1,4-endoglucanase secreted by *Acetobacter xylinum* plays an essential role for the formation of cellulose fiber. *Biosci Biotechnol Biochem*, 62, 2257-2259.
- Keshk SMAS, Razek TMA, Sameshima K (2006). Bacterial cellulose production from beet molasses. *Afr J Biotechnol*, 5, 1519-1523.
- Yamanaka S, Ishihara M, Sugiyama J (2000). Structural modification of bacterial cellulose. *Cellulose*, 7, 213-225.
- Zaar K (1977). The biogenesis of cellulose by *Acetobacter Xylinum*. *Cytobiol*, 16, 1-15.
- Brown RM Jr (1996). The biosynthesis of cellulose. *J Macromol Sci-Pure Appl Chem*, A33, 1345-1373.
- Brett CT (2000). Cellulose microfibrils in plants: biosynthesis, deposition and integration into the cell wall. *Int Rev Cytol*, 199, 161-199.
- Colvin JR, Leppard GG (1977). The biosynthesis of cellulose by *Acetobacter xylinum* and *Acetobacter acetigenus*. *Can J Microbiol*, 23, 701-709.
- Watanabe K, Tabuchi M, Ishikawa A, Takemura H, Tsuchida T, Morinaga Y, Yoshinaga F (1998). *Acetobacter xylinum* mutant with high cellulose productivity and an ordered structure. *Biosci Biotechnol Biochem*, 62, 1290-1292.
- Duvey V, Saxena C (2002). Pervoration of binary water-ethanol mixtures through bacterial cellulose membrane. *Sep Purif Technol*, 27,163-171.
- Yamanaka S, Watanabe K, Kitamura N, Iguchi M, Mitsunashi S, Nishi Y, Uryu M (1989). The structure and mechanical properties of sheet prepared from bacterial cellulose. *J Mater Sci*, 24, 3141-3145.
- Schramm M, Hestrin S (1954). Factors affecting production of cellulose at the air/liquid interface of a culture of *Acetobacter xylinum*. *J Gen Microbiol* 11, 123-129.
- Mikkelsen D, Flanagan BM, Dykes GA, Gidley MJ (2009). Influence of different carbon sources on bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter xylinus* strain ATCC53524. *J Appl Microbiol*, 107, 576-583.
- Pourramezan GZ, Roayaei AM, Qezelbash QR (2009). Optimization of culture conditions for bacterial cellulose production by *Acetobacter* sp. 4B-2. *Biotechnology* 8, 150-154.
- Keshk SMAS, Sameshima K (2005). Evaluation of different carbon sources for bacterial cellulose production. *Afr J Biotechnol* 4, 478-482.
- Çoban EP, Biyik H (2011). Effect of various carbon and nitrogen sources on cellulose synthesis by *Acetobacter lovaniensis* HBB5. *Afr J Biotechnol*, 10, 5346-5354.

- Tsuchida T, Yoshinaga F (1997). Production of bacterial cellulose by agitation culture systems. *Pure Appl Chem*, 69, 2453-2458.
- Rani MU, Appaiah A (2011). Optimization of culture conditions for bacterial cellulose production from *Gluconacetobacter hansenii* UAC09. *Ann Microbiol*, 61, 781-787.
- Ramana KV, Tomar A, Singh L (2000). Effect of various carbon and nitrogen sources on cellulose synthesis by *Acetobacter xylinum*. *World J Microbiol Biotechnol*, 16, 245-248.
- Naritomi T, Kouda T, Yano H, Yoshinaga F (1998). Effect of ethanol on bacterial cellulose production from fructose in continuous culture. *J Ferment Bioeng*, 85, 598-603.
- Park JK, Jung JY, Park YH (2003). Cellulose production by *Gluconacetobacter hansenii* in a medium containing ethanol. *Biotechnol Lett*, 25, 2055-2059.
- Santos SM, Carbajo JM, Villar JC (2013). The effect of carbon and nitrogen sources on bacterial cellulose production and properties from *Gluconacetobacter sucrofermentans* CECT 7291 focused on its use in degraded paper restoration. *Bioresources* 8, 3630-3645.
- Surma-Ślusarska B, Danielewicz D, Presler S (2008). Properties of composites of unbeaten birch and pine sulphate pulps with bacterial cellulose. *Fibres Text Eastern Eur*, 16, 127-129.
- Basta AH, El-Saied H (2009). Performance of improved bacterial cellulose application in the production of functional paper. *J Appl Microbiol*, 107, 2098-2107.
- Gao WH, Chen KE, Yang RD, Yang F, Han, WJ (2011). Properties of bacterial cellulose and its influence on the physical properties of paper. *BioResources*, 6, 144-153.
- Gea S, Reynolds CT, Roohpour N, Wirjosentono B, Soykeabkaew N, Bilotti E, Peijs T (2011). Investigation into the structural, morphological, mechanical and thermal behaviour of bacterial cellulose after a two-step purification process. *Biores Technol*, 75, 18-22.
- Son HJ, Heo MS, Kim YG, Lee SJ (2001). Optimization of fermentation conditions for the production of bacterial cellulose by a newly isolated *Acetobacter* sp A9 in shaking cultures. *Biotechnol Appl Biochem*, 33, 1-5.
- Czaja W, Romanovicz D, Brown RMJr (2004). Structural investigations of microbial cellulose produced in stationary and agitated culture. *Cellulose* 11, 403-411.
- Chawla PR, Bajaj IB, Survase SA, Singhal RS (2009). Microbial cellulose: fermentative production and applications. *Food Technol Biotechnol*, 47, 107-124.
- Zuo K, Cheng H, Wu SC, Wu WT (2006). A hybrid model combining hydrodynamic and biological effects for production of bacterial cellulose with a pilot scale airlift reactor. *Biochem Eng J*, 29, 81-90.
- Kouda T, Yano H, Yoshinaga F (199b). Effect of agitator configuration on bacterial cellulose productivity in aerated and agitated culture. *J Ferment Bioeng*, 83, 371-376.

Chao Y, Ishida T, Sugano Y, Shoda M (2000). Bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* in a 50 mL internal loop airlift reactor. *Biotechnol Bioeng*, 68, 345-352.

Serafica G, Mormino R, Bungay H (2002). Inclusion of solid particles in bacterial cellulose. *Appl Microbiol Biotechnol*, 58, 756-760.

Bielecki S, Krystynowicz A, Turkiewicz M, Kalinowska H (2005). Bacterial cellulose. In *Biotechnology of polymer: From synthesis to patents*. Steinbuechel A, (ed). Wiley-VCH. Munster 381-434.

Moigne NL, Navard P (2010). Dissolution mechanisms of wood cellulose fibres in NaOH-water. *Cellulose*, 17, 31-45.

George J, Ramana KV, Sabapathy SN, Jagannath JH, Bawa AS (2005). Characterization of chemically treated bacteria (*Acetobacter xylinum*) biopolymer: some thermo-mechanical properties. *Int J Biol Macromol*, 37,189-194.

Nishi Y, Uryu M, Yamanaka S, Watanabe K, Kitamura N, Iguchi M, Mitsuhashi S (1990). The structure and mechanical properties of sheets prepared from bacterial cellulose .2. Improvement of the mechanical properties of sheets and their applicability to diaphragms of electroacoustic transducers. *J Mat Sci*, 25, 2997-3001.

Czaja W, Krystynowicz A, Bielecki S, Brown RMJr (2006). Microbial cellulose-the natural power to heal wounds. *Biomaterials*, 27, 145-151.

Park S, Baker JO, Himmel ME, Parilla PA, Johnson DK (2010). Research cellulose crystallinity index: measurement techniques and their impact on interpreting cellulase performance. *Biotechnol Biofuels* 3, 1-10.

Shoda M, Sugano Y (2005). Recent advances in bacterial cellulose production. *Biotechnol Bioprocess Eng*, 10, 1-8

Thompson D, Hamilton M (2001). Production of bacterial cellulose from alternate feedstocks. *Appl Biochem Biotechnol*, 91-93, 503-513.

Czaja WK, Young DJ, Kawecki M, Brown RM (2007). The future prospects of microbial cellulose in biomedical applications. *Biomacromolecules*, 8, 1-12.

Maneerung T, Tokura S, Rujiravanit R (2008). Impregnation of silver nanoparticles into bacterial cellulose for antimicrobial wound dressing. *Carbohydr Polym*, 72, 43-51.

Fontana J, De Souza A, Fontana C, Torriani I, Moreschi J, Gallotti B, De Souza S, Narcisco G, Bichara J, Farah L (1990). *Acetobacter xylinum*; cellulose pellicle as a temporary skin substitute. *Appl Biochem Biotechnol*, 24-25, 253-264.

Schumann D, Wippermann J, Klemm DO, Kramer F, Koth D, Kosmehl H, Wahlers T, Salehi-Gelani S (2009). Artificial vascular implants from bacterial cellulose: preliminary results of small arterial substitutes. *Cellulose*, 16, 877-885.

- Brackmann C, Bodin A, Åkeson M, Gatenholm P, Enejder A (2010). Visualization of the cellulose biosynthesis and cell integration into cellulose scaffolds. *Biomacromolecules*, 11, 542-548.
- Nwe N, Furuike T, Tamura H (2010). Selection of a biopolymer based on attachment, morphology and proliferation of fibroblast NIH/3T3 cells for the development of a bio-degradable tissue regeneration template: Alginate, bacterial cellulose and gelatin. *Process Biochem*, 45, 457-466.
- Zaborowska M, Bodin A, Bäckdahl H, Popp J, Goldstein A, Gatenholm P (2010). Microporous bacterial cellulose as a potential scaffold for bone regeneration. *Acta Biomater*. 6, 2540-2547.
- Wang J, Gao C, Zhang Y, Wan Y (2010). Preparation and in vitro characterization of BC/PVA hydrogel composite for its potential use as artificial cornea biomaterial. *Mat Sci Engi C*, 30, 214-218.
- Legnani C, Vilani C, Calil VL, Barud HS, Quirino WG, Achete CA, Ribeiro SJL, Cremona M (2008). Bacterial cellulose membrane as flexible substrate for organic light emitting devices. *Thin Solid Films*, 517, 1016-1020.
- Sun D, Yang J, Li J, Yu J, Xu X, Yang X (2010). Novel Pd-Cu/bacterial cellulose nanofibers: Preparation and excellent performance in catalytic denitrification. *Appl Surf Sci*, 256, 2241-2244.
- Ciechańska D, Struszczyk H, Kazimierczak J, Guzińska K, Pawlak M, Kozłowska E, Matusiak G, Dutkiewicz M (2002). New electro-acoustic transducers based on modified bacterial cellulose. *Fibres Text Eastern Eur*, 10, 27-30.
- Shibazaki H, Kuga S, Onabe F, Usuda M (1993). Bacterial cellulose as a separation medium. *J Appl Polym Sci*, 50, 965-969.
- Sokolnicki AM, Fisher RJ, Harrah TP, Kaplan DL (2006). Permeability of bacterial cellulose membranes. *J Membr Sci*, 272, 15-27.
- Pommet M, Juntaro J, Heng JYY, Mantalaris A, Lee AF, Wilson K, Kalinka G, Shaffer MSP, Bismarck A (2008). Surface modification of natural fibers using bacteria: depositing bacterial cellulose onto natural fibers to create hierarchical fiber reinforced nanocomposites. *Biomacromolecules*, 9, 1643-1651.
- Yamanaka S, Watanabe K, Suzuki Y, 1990. Hollow microbial cellulose, process for preparation thereof, and artificial blood vessel formed of said cellulose. EP039344A2.
- Santos SM, Carbajo JM, Quintana E, Gómez N, Ladero M, Sánchez A, Villar JC (2014). Use of bacterial cellulose sheets as reinforcing material in degraded paper restoration. VIII Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel (CIADICYP 2014). Medellín. Colombia.

V

ENZIMAS LIGNOCELULOLÍTICAS: PRODUCCIÓN, USOS Y PERSPECTIVAS

Alejandro Téllez Jurado¹, Ainhoa Arana Cuenca¹, Miguel Angel Anducho Reyes¹, Yuridia Mercado Flores¹

Introducción

La lignocelulosa es el biopolímero mas abundante en nuestro planeta y es considerado como un recurso natural renovable. En conjunto, la lignocelulosa es un compuesto muy resistente a la descomposición debido en gran parte a la presencia de lignina. La complejidad de la molécula de lignina hace que pocos organismos sean capaces de atacar árboles o plantas vivas sanas. En la naturaleza, hay un grupo de microorganismos especializados en la degradación de la lignocelulosa y que tienen una gran importancia en los procesos de reciclaje natural de la madera colaborando activamente en la reincorporación del carbono y nitrógeno en los ciclos naturales de estos compuestos, este grupo son los hongos basidiomicetos. Estos hongos viven digiriendo la pared celular de los vegetales y pertenecen a la división basidiomycota. Estos microorganismos están altamente especializados y pueden descomponer la celulosa, hemicelulosa y lignina de los tejidos leñosos de árboles y de prácticamente cualquier otro residuo vegetal. Una gran variedad de hongos basidiomicetos degradan preferencialmente la celulosa y las hemicelulosas utilizando enzimas hidrolíticas extracelulares mientras que otro

1. Universidad Politécnica de Pachuca, México

grupo de hongos degradan todos los componentes de la pared vegetal incluyendo la lignina y son los únicos que hidrolizan eficientemente los polisacáridos encajonados en esta (Elisashvili *et al.*, 2009). La capacidad de estos hongos para degradar la madera se debe a su sistema enzimático que es altamente dinámico, eficiente y especializado y esta formado por un sistema oxidativo responsable de la degradación de la lignina y complementado por las enzimas encargadas de la hidrólisis de los polisacáridos de las maderas (Leontievsky *et al.*, 2011). El ataque a las maderas por hongos se ha clasificado con base en el tipo de pudrición que producen, de las especies de hongos que la causan y dependiendo de las zonas del hospedero atacadas. El interés sobre organismos xilófagos se ha incrementado debido a que, por sus características, estos representan una alternativa en el aprovechamiento de residuos agroindustriales, en este sentido dilucidar el proceso de biodegradación de maderas y residuos lignocelulósicos por hongos representa un punto clave en el uso de la biomasa vegetal. Existen diversos estudios enfocados a entender este proceso natural, la producción de enzimas a partir de residuos lignocelulósicos ha demostrado ser un medio eficaz para dilucidar la capacidad degradativa de estos hongos, pero también para la obtención de productos de interés a partir de los compuestos resultantes de la degradación enzimática (Floudas *et al.*, 2012).

En la búsqueda de métodos que permitan ampliar el aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica un componente clave es la lignina, siendo el polímero aromático más abundante en la naturaleza que por su estructura química, es considerado como un componente altamente recalcitrante. En la naturaleza diferentes grupos de hongos y bacterias pueden participar en el proceso de biodegradación de la lignina, provocando su modificación o parcial despolimerización.

Entre las bacterias destacan algunas de los géneros *Pseudomonas* y *Xantomonas*; Actinomicetos principalmente del genero *Streptomyces*; sin embargo hasta el momento los más eficaces y quizás más extendidos degradadores de lignina son los hongos de podredumbre blanca (**Tabla 1**), los cuales forman parte del grupo de los basidiomicetos. Estos hongos incluyen varios cientos de basidiomicetos y pocos ascomicetos (Sánchez, 2009).

Tabla 1. Enzimas producidas por hongos de Podredumbre blanca durante la degradación de residuos lignocelulósicos

Hongo	Sustrato	Complejo enzimático
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Semillas de uva, salvado de cebada y viruta de madera	LiP, MnP
<i>Strubilurus ohshimae</i>	Residuos de sedro	LiP, MnP
<i>Trametes versicolor</i>	Virutas de madera, olote, paja de trigo. Semillas de uva, salvado de cebada y viruta de madera. Bagazo de caña	Lcc Lcc, Xyl, MnP, Celobiosa deshidrogenasa. Lcc, MnP, Glucosa oxidasa, glioxal oxidasa, Quinona oxidoreductasa, Cellobiosa.
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Bagazo de caña Paja de maíz.	MnP, Lcc, Xyl, Cel.
<i>Pleurotus pulmonarius</i>	Pulpa de café, Restos de hierba, paja de trigo, fibra de algodón.	Lcc, Mn, Endoglucanasa, Cellobiohidrolasa
<i>Bjerkandera adusta</i>	Virutas de madera, carozo de maíz, paja de trigo.	LiP, MnP
<i>Pycnoporus cinnabarinus</i>	Pulpa de madera blanda	Lcc, LiP, MnP
<i>Trichaptum biforme</i>	Cascara de mandarina, orujas de uva, hojas de arce	Lcc, Xyl, Cel
<i>Pseudotremella gibbosa</i>	Orujas de uva, cacaras de mandarina, Residuos de producción de etanol. Residuos de trigo, hojas de arce.	Lcc, Xyl, Cel Lcc, MnP, Xyl, Cel.
<i>Ganoderma applanatum</i>	Cascara de mandarina	Lcc, MnP, Xyl, Cel
<i>Fomes fomentarius</i>	Residuos de la producción de etanol, salvado de trigo, orujas de uva. Cascara de mandarina, hojas de arce.	Lcc, Mn, Xyl, Cel. Lcc, Xyl, Cel.
<i>Trametes biforme</i>	Cascara de mandarina	Lcc, MnP, Xyl, Cel.

*(Elisashvili *et al.*, 2009; Sanchez, 2009)

Un estudio enfocado a entender la capacidad evolutiva de los hongos de pudrición blanca en la degradación de la madera, fue el realizado por Floudas y colaboradores (2012) mediante el análisis de familias de genes que codifican para enzimas involucradas en la descomposición de la madera. Al comparar 31 genomas de hongos pertenecientes a especies de pudrición blanca, especies de pudrición café, micorrizas, hongos patógenos para plantas y animales además de saprofitos no degradadores de maderas, micoparásitos y levaduras; se reportó que los genes que codifican para peroxidasas son exclusivos en hongos de pudrición blanca, además estos en comparación con los hongos de pudrición café, poseen un mayor número de copias de genes que codifican para CAZymes y de manera abundante y en particular aquellas que actúan sobre la celulosa cristalina (Floudas *et al.*, 2012).

Enzimas hidrolíticas

Polisacáridos de la lignocelulosa

La degradación de los polisacáridos presentes en la lignocelulosa requiere de una mezcla de enzimas con diferentes especificidades trabajando en conjunto, a pesar de que las enzimas implicadas en la degradación la celulosa y hemicelulosa (confirmada principalmente por xilano) son similares, esta última requiere más enzimas para completar su degradación debido a su mayor heterogeneidad en comparación con la celulosa.

El xilano

El xilano está formado por un esqueleto de moléculas de β -D-Xilosa unidas entre sí por enlaces $\beta(1\rightarrow4)$, normalmente la cadena de β -D-xilopiranosas presenta ramificaciones laterales de diferente naturaleza, ya que, aunque en algunas plantas se han encontrado homoxilanos formados exclusivamente por xilosa, lo más frecuente es que el xilano se encuentre en forma de heteropolisacárido (**Figura 1**) (Beg *et al.*, 2001), algunos xilanos pueden presentar, arabinosa, glucosa, galactosa y glucuronato, siendo las más comunes aquellas formadas por: α -L-arabinofuranosa, ácido α -D-glucurónico, O-acetilos.

Enzimas degradadoras de xilano.

Este complejo enzimático está conformado por diferentes enzimas, cada una con un papel definido y determinado para la completa degradación del xilano (Biely, 1985). Las enzimas degradadoras de xilano se clasifican en dos grandes grupos:

1. Enzimas implicadas en la despolimerización del esqueleto principal de xilosas: Endoxilanasas ejemplo: β -1,4-D-xilan-xilanhidrolasas y β -xilosidasas ejemplo: β -1,4-D-xilan-xilohidrolasas.

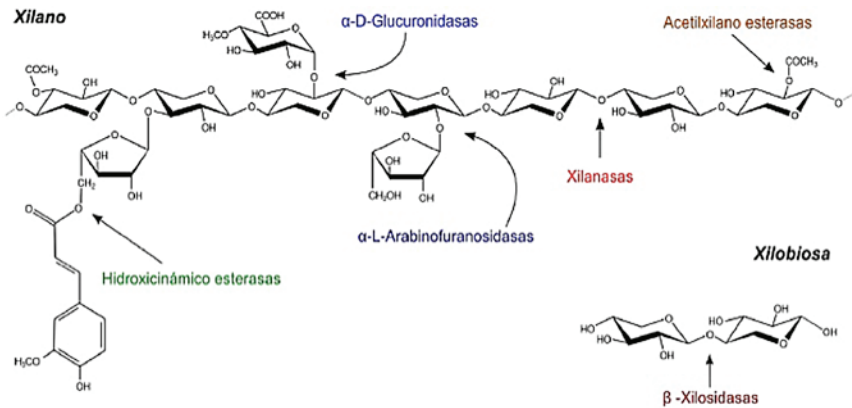


Figura 1. Xilano y enzimas degradadoras

2. Enzimas encargadas de la degradación de las cadenas laterales del xilano llamadas también desrramificantes como: α -L-arabinofuranosidasas, α -D-glucuronidasas, acetil xilano estereasas, y ferúlico y p -cumàrico estereasas.

Entre estas enzimas existen relaciones de sinergismo, de modo que, generalmente las enzimas desrramificantes permiten una mayor accesibilidad de las xilanasas al esqueleto principal de las xilosas y a su vez estas enzimas accesorias liberan los sustituyentes laterales más fácilmente a partir de fragmentos de xilano.

La celulosa

La celulosa es el componente más abundante de la biomasa vegetal y se considera el biopolímero más abundante del planeta (Saxena y Brow, 2005). Se encuentra formando parte de la denominada fase micro fibrilar de la pared vegetal (altamente cristalina) la cual, además de celulosa, puede contener micro fibrillas de mánanos o de xilanos $\beta(1\rightarrow3)$.

Es un homo polímero lineal no ramificado formado por moléculas de β -D-glucosa unidas entre sí por enlaces glucosídicos $\beta(1\rightarrow4)$ (**Figura 2**), en el que cada residuo D-glucosa presenta una rotación de 180° respecto al residuo anterior, por lo que la unidad estructural básica de la celulosa es la xelobiosa, formada por dos residuos de D-glucosa. Las cadenas de celulosa se encuentran asociadas entre si intra e intermolecularmente mediante puentes de Hidrógeno y fuerzas de Van derWalls, dando lugar a una estructura fibrilar rígida, insoluble y cristalina denominada micro fibrilar.

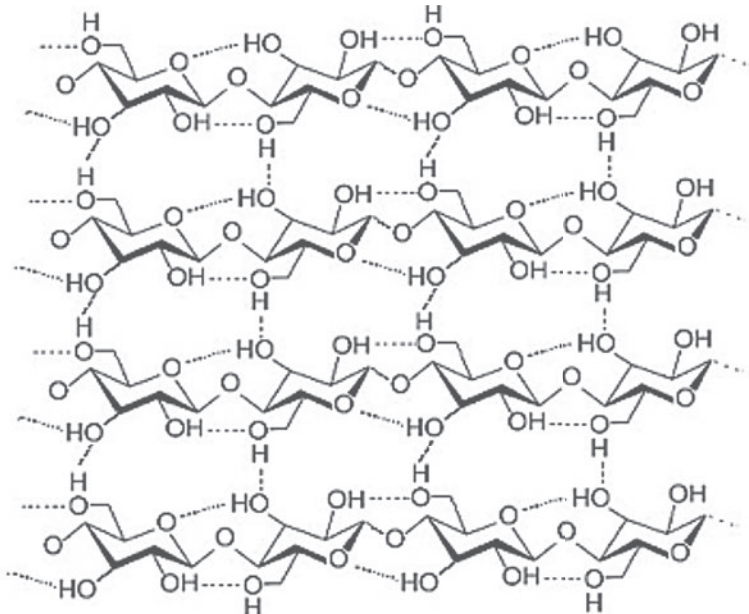


Figura 2. Estructura de la celulosa

Enzimas degradadoras de celulosa

De acuerdo al sitio en el que cortan la fibrilla de celulosa se dividen en tres grandes grupos: endocelulasas, exocelulasas, y β .glucosidasas.

- Endocelulasas: también denominadas endoglucanasas. Estas son 1,4- β -D-glucanglucano hidrolasas (E.C.3.2.1.4) que se agrupan en las familias de las glicosilhidrolasas (Valdrian y Valascova, 2008). Las endocelulasas actúan sobre las regiones de celulosa amorfa en el interior del polisacárido generando oligosacáridos de diferentes tamaños y por lo tanto nuevas cadenas terminales.
- Exocelulasas: también llamadas exoglucanasas, actúan progresivamente en los extremos terminales del polímero liberando ya sea moléculas de glucosa, las glucohidrolasas (1,4- β -D-glucanglucohidrolasa, EC.3.2.1.74); o xelobiosa, las celobiohidrolasas (1,4- β -D-glucancelobiohidrolasas, E.C. 3.2.1.91).
- β – glucosidasas: Son enzimas β -D-glucósido glucohidrolasas (EC 3.2.1.21), pertenecientes a las familias 1 y 3 de las glicosilhidrolasas y se encargan de degradar la xelobiosa a monómeros de glucosa (Sánchez, 2009)

Para la efectiva degradación de la celulosa las enzimas utilizan mecanismos sinérgicos. Esto se refiere a la observación de que la actividad máxima de degradación de la celulosa no se da por enzimas individuales si no por mezclas de tres o más enzimas (Sánchez, 2009)

Enzimas ligninolíticas

Los hongos basidiomicetos se caracterizan por contar con la batería enzimática especializada en la degradación de residuos lignocelulósicos siendo las principales enzimas la Lignina peroxidasa (LiP), Manganese peroxidasa (MnP), Peroxidasa versátil (VP), Lacasa (Lcc) y enzimas accesoras. Las primeras tres pertenecen a la familia de Peroxidasas II encontrándose dentro de la super familia de hemoperoxidasas, mientras que la Lacasa pertenece a la familia de las multicobre oxidasas azules (Chen *et al.*, 2012).

Lignina Peroxidasa (LiP) y Manganese Peroxidasa (MnP)

Estas enzimas fueron descritas por primera vez en *P. chrysosporium*, encontrándose 8 isoenzimas para la ligninoperoxidasa (LiP; EC 1.11.1.14) y 4 isoenzimas de la Manganese peroxidasa (MnP; EC 1.11.1.13) (Duhail y Davila, 2011).

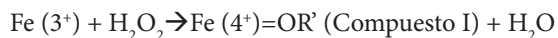
La LiP o ligninasa se ha considerado como elemento clave en el proceso ligninolítico debido a su alto potencial redox, que le confiere capacidad para oxidar las unidades no-fenólicas (más del 80 % del polímero) presentes en la lignina. Al ser relativamente inespecífica en sustratos reductores puede oxidar compuestos aromáticos de alto potencial redox como el alcohol veratrílico, metoxibencenos y modelos diméricos no fenólicos de la lignina (Wong, 2009).

La MnP cataliza reacciones químicas que oxidan numerosos compuestos fenólicos especialmente siringil (3,5-dimetoxi,4-hidroxifenil), su participación en la degradación de la lignina sugiere que cataliza reacciones que aumentan la reactividad de esta mediante el aumento de su contenido fenólico. Durante su ciclo catalítico esta enzima genera Mn^{3+} que actúa como una especie altamente oxidante (desestabilizante) en unidades fenólicas y no fenólicas de la lignina a través de las reacciones de peroxidación de lípidos, al ser una especie altamente reactiva (inestable en medio acuoso) en respuesta los hongos secretan ácido oxálico o malónico que acomplejan el Mn^{3+} estabilizándolo. Estos ácidos dicarboxílicos forman complejos estables con el Mn^{3+} capaces de difundir a través de la estructura de la pared celular vegetal, actuando como oxidantes de compuestos fenólicos. Siendo específica para sustratos reductores el ciclo catalítico de esta enzima requiere de Mn^{2+} para ser completado (Hofrichter, 2002).

Estas enzimas llevan a cabo su ciclo catalítico mediante H_2O_2 , sirven como transportadoras de oxígeno y electrones en reacciones donde un átomo de oxígeno es transferido al sustrato y el otro al agua; su función es la de aceptor de e^- en la reducción de los peróxidos. De esta forma se produce la oxidación de $2 e^-$ que incluye la transferencia del átomo de O_2 desde el compuesto oxidante hasta el grupo hemo de la enzima.

El ciclo catalítico de estas enzimas está compuesto por tres reacciones consecutivas (Wong, 2009):

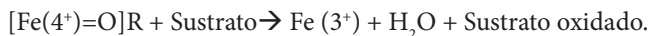
Reacción del sitio activo de la enzima con H_2O_2 reduciéndolo a H_2O , esto produce la oxidación de la proteína férrica dando como resultado un intermedio determinado Compuesto I.



La proteína denominada compuesto I se reduce mediante un e^- por una molécula de sustrato reductor, dando lugar a un radical del sustrato y formando el compuesto II.



El compuesto II es reducido por un e^- donado de una segunda molécula de sustrato reductor; de esta forma la enzima vuelve a su estado nativo que contiene Fe^{3+} .



Peroxidasa Versatil (VP)

Por su parte la Peroxidasa Versatil (VP; EC 1.11.1.16) es capaz de combinar los ciclos de la MnP y LiP, oxidando Mn^{2+} a Mn^{3+} así como el alcohol veratrílico a su radical veritraldeído, además de su capacidad para oxidar hidroquinonas y fenoles que no son oxidados eficientemente por la LiP y MnP en ausencia de Alcohol veratrílico o Mn^{2+} . Por tal motivo es considerada un híbrido de estas dos enzimas y ha sido identificada como una tercer peroxidasa. Este tipo de actividad se ha reportado en basidiomicetos como: *Pleurotus*, *B. adusta*, *P. erengii*, *Bjerkandera sp.*

Lacasa (Lcc)

Las enzimas de tipo Lacasa (Lcc; EC 1.10.3.2, benzenodiol) forman parte de la familia Cu-Oxidasa azules, son responsables de la catálisis oxidativa de

fenoles y moléculas similares de compuestos presentes en la lignina como benzopirenos y p-fenilenediaminos, oxida ácidos fenólicos y metoxifenólicos atacando sus grupos metoxilo mediante reacciones de desmetilación y descarboxilación que son pasos importantes en la transformación inicial de la lignina. La catálisis enzimática de esta enzima involucra al O_2 como aceptor de electrones donde el sustrato fenólico es oxidado mediante la reducción de O_2 a H_2O (Chen *et al.*, 2012).



Otras enzimas accesorias involucradas en la degradación de la lignina incluyen la Aril alcohol oxidasa (AAO; E.C. 1.13.7) que oxida alcohol veratrílico, la glioxal oxidasa (GLOX; EC 1.2.3.5); Piranosa 2-oxidasa (glucosa-1-oxidasa EC 1.1.3.4), Aril alcohol deshidrogenasa (ADD; EC 1.1.191), Quinona reductasa (QR; EC 1.1.5.1) y Celobiosa deshidrogenasa (CDH; EC 1.1.99.18) (Sánchez, 2009; Hatakka y Hammel, 2011).

Ligninólisis

La ligninólisis ha sido descrita por Kirk como: “Un proceso de combustión enzimática extracelular”, debido a que la degradación ligninolítica muestra una fuerte correlación con la producción de CO_2 , lo que denota la capacidad de estas enzimas para mineralizar la lignina.

A pesar de que la degradación de la lignina es atribuida principalmente a las enzimas ligninolíticas *LiP*, *MnP* y *Lcc* (**Tabla 2**) la participación de mediadores siempre ha sido considerada ya que es obvio que debido al tamaño de las enzimas estas se ven imposibilitadas para penetrar a través de la pared vegetal sin ser alterada.

La presencia de agentes tales como ácido oxálico, ácido malónico, ácido glioxílico, ácidos grasos insaturados además de agentes radicales como peroxilo y acilo, son considerados de vital importancia, debido a que, al ser compuestos de bajo peso molecular difunden a través de la pared vegetal iniciando la descomposición y facilitando la penetración de las enzimas (Lundell *et al.*, 2010).

Tabla 2. Reacciones enzimáticas responsables de la degradación de la lignina .

Actividad enzimática	Sustrato ó cofactor	Reacción
Lignina Peroxidasa (LiP)	H ₂ O ₂ , Alcohol veratrílico	Oxidación del anillo aromático.
Magnesio Peroxidasa (MnP)	H ₂ O ₂ , Mn, Ácidos orgánicos, lípidos insaturados.	Oxidación de fenoles.
Lacasa (Lcc)	O ₂ , Hidroxibenzotrazol (intermediario).	Oxidación de compuestos fenólicos.
Glioxal oxidasa (Glox)	Glioxal, metil glioxal	Oxidación de glioxal y ácido glioxálico, producción de H ₂ O ₂ .
Arilalcohol oxidasa	Alcoholes aromáticos	Oxidación de alcoholes a aldeídos. Producción de H ₂ O ₂
Enzimas productoras de H ₂ O ₂	Compuestos orgánicos	O ₂ reducido a H ₂ O ₂

En la degradación enzimática de la lignina sucede una serie de reacciones que originan la desestabilización de los enlaces del biopolímero y con ello la ruptura de la macromolécula. Es por esto que la eficiencia de este proceso se atribuye a una correlación de enzima-mediador-sustrato; por ejemplo se ha demostrado que el alcohol veratrílico actúa como mediador en la degradación de la lignina durante el ciclo catalítico de la LiP, en el caso de la MnP la presencia Mn²⁺ y ácidos grasos no saturados le permite la oxidación de compuestos no fenólicos, de la misma forma sucede con la Lcc que en presencia de un mediadores como 1-hidroxibenzotriazol y N-hidroxi-βN-fenilacetamida la actividad de esta se ve favorecida (Wong, 2009).

Como ejemplo, en la pudrición blanca (**Figura 3**) la actividad ligninolítica (Lcc, LiP, MnP) producida sobre el polímero de la lignina, resulta en la generación de radicales aromáticos que posteriormente sufren reacciones entre las que se incluyen: la oxidación del alcohol bencílico, escisión de la cadena lateral alifática y enlaces aril-éster (b), la apertura de anillos (c), rompimiento del enlace C_α-Cβ (d), desmetoxilación (e). La fragmentación de compuestos más pequeños;

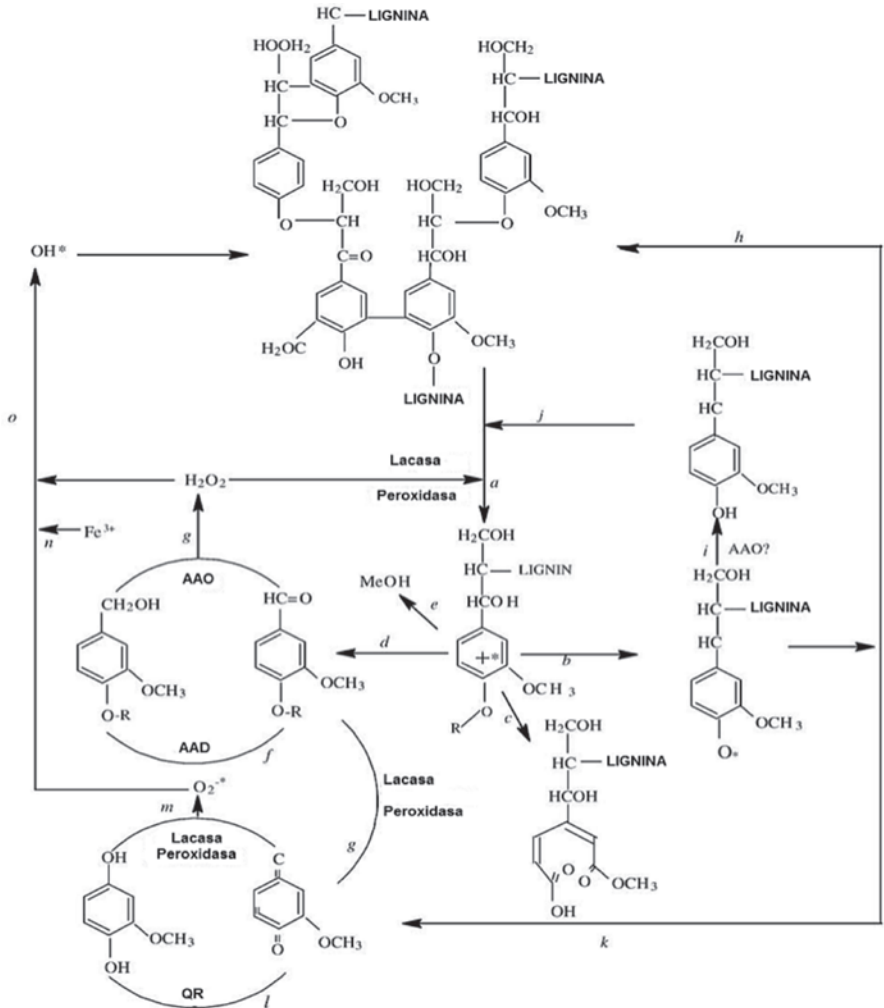


Figura 3. Degradación de la lignina (Martínez *et al.*, 2005)

donde las reacciones ocurridas a estos radicales están determinadas por los sustituyentes encontrados en el anillo aromático (Sánchez, 2009).

Por ejemplo los radicales fenoxi (b) repolimerizan en un polímero de la lignina (h) si estos no han sido reducidos por oxidasas a compuestos

fenólicos (i); si ya han sido reducidos a compuestos fenólicos pueden ser nuevamente oxidados por la acción de las peroxidasas o lacasas (j). Otro producto obtenido de estos radicales son las p-quinonas (k) que contribuyen a la activación de reacciones cíclicas tipo redox donde se ven involucradas no solo las peroxidasas y lacasas si no también la Quinona reductasa (l,m).

Esto resulta en la reducción del hierro férrico presente en la madera (n), ya sea por el catión superóxido o por radicales semiquinona; este sufre una reoxidación mediante la reducción de H_2O_2 formando un radical libre hidroxilo ($OH\cdot$) (o). Este último es una especie altamente oxidante en el ataque sobre la lignina (p), siendo de gran importancia en la etapa inicial de descomposición de la madera, cuando el pequeño tamaño de poros de la célula vegetal aun intacta impiden la penetración de las enzimas ligninolíticas. Además dentro de los compuestos liberados los aldehídos aromáticos liberados de la escisión del $C\alpha-C\beta$ sirven como sustrato para la producción de H_2O_2 generado en reacciones cíclicas por la AAO y la AAD (Sánchez, 2009).

En las etapas finales los productos resultantes de la degradación de la lignina entran a las hifas de los hongos incorporándose a las rutas catabólicas intracelulares. En este proceso enzimas ligninolíticas e hidrolíticas para interrumpir la asociación lignina hemicelulosa. Siendo la principal fuente de energía la producción de H_2O_2 deriva del co-metabolismo de celulosa y hemicelulosa.

Producción de enzimas lignocelulolíticas.

Las enzimas lignocelulolíticas actualmente han alcanzado gran relevancia por su capacidad de hidrolizar una amplia variedad de sustratos de origen vegetal, en conjunto, estas enzimas son capaces de degradar compuestos altamente recalcitrantes así como de transformar moléculas que tienen un campo de aplicación biotecnológica muy interesante. Estas enzimas son producidas por un amplio grupo de microorganismos como son bacterias, levaduras y hongos por lo que la producción de estas enzimas depende directamente del microorganismo productor. La producción a nivel

mundial de celulasas y xilanasas sobrepasa el 20 % de la producción de enzimas. Los procesos de producción de las enzimas lignocelulolíticas son muy variados y van desde los cultivos sumergidos hasta el cultivo en sólidos, esto, dependiendo del microorganismo productor de estas enzimas. La producción de enzimas en sólido, conocida como la fermentación en sólido, es uno de los procesos de producción más agraciados sobre todo si el microorganismo productor de las enzimas es un hongo filamentoso, ya sea ascomiceto o basidiomiceto. La fermentación en sólido proporciona al hongo un medio natural de crecimiento además de que el soporte o matriz sobre la que crece el microorganismo sirve también de fuente de nutrientes, principalmente, de fuente de carbono. Por otra parte, debido a la baja actividad de agua del sustrato, la fermentación en sólido es un medio selectivo en el que sólo crecen microorganismos capaces de desarrollarse en medios donde el sustrato no sobrepasa el 80 % de humedad evitando la contaminación con bacterias. Es importante señalar que la selección del sustrato es fundamental para que el proceso tenga éxito (Murado y col., 1996) por lo que están definidos dos tipos de sustratos, los inertes cuyo única función es ser soporte para el crecimiento de los microorganismos por lo que es necesario adicionar los nutrientes suficientes para un óptimo crecimiento de los microorganismos (Durand y col., 1993) y los sustratos duales los cuales son utilizados como soportes y como fuente de nutrientes y solo hay que controlar el tamaño de partícula y el nivel de aireación para optimizar la producción de las enzimas lignocelulolíticas (Quintanar y col., 2012). Los procesos que utilizan este tipo de soportes presentan la característica de utilizar generalmente residuos agrícolas brindando mayor valor agregado además de disminuir el impacto ambiental al ofrecer una alternativa para una mejor disposición. Por su composición química, los residuos agrícolas son una excelente opción para ser utilizados como sustratos para la producción de enzimas ya que tienen un alto contenido de celulosa, hemicelulosas y de lignina (**Tabla 3**).

Tabla 3. Algunos soportes sólidos utilizados para la producción de enzimas ligninolíticas

Soporte	Composición química			Enzima producida	Microorganismo productor	Referencia
	Lignina (%)	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)			
Bagazo de caña	14	33	22	Lacasa, MnP, LiP	<i>Trametes versicolor</i> , <i>Pleurotus ostreatus</i>	Pal y col., 1995; Pradeep y Datta, 2002
Maíz	20.3	31.7	34.7	Lacasa	<i>Lentinula edodes</i> , <i>Pleurotus pulmonaris</i>	D'Annibale y col., 1996; Tychanowicz y col., 2004
Tallos de uva	22.9	29.9	35.33	Ligninasas, glucosidasas	<i>Coriolus versicolor</i> , <i>Aspergillus niger</i>	Golovleva y col., 1987; Huerta y col., 2003.
Paja de cebada	15	30	50	LiP, MnP Lacasa	<i>Phanerochaete chrysosporium</i> , <i>P. ostreatus</i>	Del Pilar y col., 1997; Baldrian y Gabriel, 2002. 46, 49

Las estrategias para la producción de este tipo de enzimas son muy variadas, pero en todas ellas las variables a controlar son la aireación, pH, humedad, agitación y temperatura. La mayor dificultad para este tipo de procesos, es el control de la transferencia de oxígeno debido a que conforme el microorganismo crece sobre el sustrato se dificulta la transferencia de oxígeno hacia el centro del sustrato. Otro factor a tomar en cuenta es la geometría del reactor, muchos de los diseños son a escala de laboratorio debido a que el escalamiento se dificulta por la heterogeneidad del sistema y por la dificultad en la transferencia de calor (Durand, 2003), las geometrías más comunes son los reactores de bandejas o charolas, los reactores de inmersión, de lecho empacado y de tambor rotatorio.

La producción de enzimas hidrolíticas es muy compleja existiendo una gran diversidad de microorganismos productores. Para los procesos de hidrólisis es necesario el uso de una vasta familia de estas enzimas que en conjunto, llevan a cabo la hidrólisis de la celulosa y hemicelulosas. Las principales enzimas son celulasas como endo-1, 4- β -D-glucanasas, exo- β -1, 4-glucan celohidrolasas, y hemicelulasas como exo-1, 4- β -xilidasas y endo-1, 4- β -xilanasas que son producidas a nivel industrial por *Trichoderma*

pinophilus en cultivo sumergido. También se ha utilizado el cultivo en sólido para la producción de hidrolasas la cual presenta ventajas económicas, para el caso de hemicelulasas se ha utilizado cultivo en sólido y hongos ascomycetos como *T. viride*, *T. koningii*, *T. reesei* y *A. niger*. Se han implementado diversas estrategias para incrementar los rendimientos de las enzimas hidrolíticas específicamente herramientas de la ingeniería metabólica y genética, con ello se ha logrado obtener cepas con gran estabilidad a pH y temperatura así como altos rendimientos de enzimas hidrolíticas.

Aplicación de enzimas ligninolíticas a procesos biotecnológicos

La batería enzimática lignocelulolítica es muy versátil y es considerada como el sistema enzimático oxidativo más eficiente encontrado en la naturaleza. Las ligninasas (lacasa, MnP y LiP) tienen un amplio repertorio de aplicaciones industriales como es la producción sustentables de productos químicos renovables, biocombustibles, síntesis orgánica (antibióticos, polímeros, materiales de construcción, etc.), nanobiotecnología (bisensores), biorremediación (remoción de compuestos contaminantes de suelo, agua y aire), en la industria de los alimentos (procesamiento de bebidas) y en procesos de bio blanqueo de materiales textiles y de la industria de la pulpa y papel. Por otra parte, la gran versatilidad de los procesos biocatalíticos que demandan actualmente los mercados, ha propiciado la manipulación de las propiedades de las enzimas para adaptarse a ambientes industriales “no naturales” o en mejor de los casos, mejorar las capacidades catalíticas de estas enzimas.

La aplicación biotecnológica de celulasas y hemicelulasas empezó en la década de los 80's del siglo pasado iniciando con aplicaciones en la alimentación animal y posteriormente se desarrollaron varias aplicaciones en la industria de los alimentos (Voragen, 1992). Actualmente la aplicación de estas enzimas abarcan a la industria textil, lavandería y sobre todo en la industria de la pulpa y papel. Es común el uso de estas enzimas en la extracción y clarificación de jugos debido a que actúan de manera sinérgica con las pectinasas en el proceso de maceración facilitando estos procesos. Algunas hemicelulasas tiene el potencial de cambiar la textura, sabor y propiedades sensoriales de los alimentos como en el caso de las β -glucosidasas (Baker y Wicker, 1996)

Perspectivas

Respecto a las enzimas ligninolíticas la perspectiva a futuro implica la búsqueda de enzimas capaces de llevar a cabo gran cantidad de reacciones catalíticas a los que algunos autores denominan “*enzimas promiscuas*” por su alta inespecificidad por sustrato (Huang y col., 2012). Otro nicho de oportunidad es la búsqueda utilizando análisis filogenético e inferencia ancestral, de enzimas ancestrales capaces de funcionar bajo condiciones extremas de pH, temperatura, presión y fuerza iónica.

Otro campo de oportunidad es que a partir de los estudios de inferencia ancestral y de la reconstrucción de patrones evolutivos adaptativos encontrar pequeñas librerías funcionales y que con ayuda de la ingeniería de librerías ancestrales, permita detectar mutaciones consenso que posteriormente, sean utilizadas para la mutación dirigida de enzimas que mejoren la estabilidad o eleven la promiscuidad de las mismas (Risso y col., 2014). Como ejemplo del uso de las herramientas mencionadas esta el trabajo de Floudas y col. (2012), quienes a través de la reconstrucción del genoma de 31 hongos ligninolíticos, revelaron que a partir de la formación de depósitos de carbón durante el período Pérmico-Carbonífero (hace 260 millones de años) dio pie al nacimiento y la evolución de los hongos de podredumbre blanca así como de las enzimas que degradan a la lignina. De hecho, la interfaz entre la evolución natural y artificial puede ser explorado por los viajes de ida y vuelta a lo largo de la línea de tiempo de evolución con las enzimas existentes y ancestrales. Este enfoque se basa en la re-especialización de las enzimas, y proporciona una comprensión más profunda de los principios que subyacen en la evolución y de las nuevas funciones para el consorcio ligninolítico y de otros muchos sistemas enzimáticos proporcionando también, información de actividades enzimáticas promiscuas latentes.

Respecto a los sistemas de producción de enzimas, las tendencias actuales implican el uso de residuos generados por la industria de los alimentos y de otras industrias como la industria forestal y la agrícola.

Referencias

- Baker, R.A., Wicker, L. (1996). Current and potential applications of enzyme infusion in the food industry. *Trends Food Sci Technol.* 7:279–84.
- Baldrian, P., Gabriel, J., (2002). Variability of laccase activity in the white- rot basidiomycete *Pleurotus ostreatus*, *Folia Microbiol.* 47: 385–390.
- Beg, Q.K., Kapoor, M., Mahajan, L. y Hoondal, G.S. (2001). Microbial xylanases and their industrial applications: a review. *Applied Microbiology and Biotechnology* Vol 56. Pp 326–338.
- Biely, P. (1985). Microbial xylanolytic systems. *Trends in Biotechnology*, 3, 286–290.
- Chen, Y., Sarkanen, S., Wang, Y. (2012). Lignin-Degrading Enzyme Activities. *Methods in Molecular Biology*. Vol. 908. Pp 251–268.
- D'Annibale, A., Celletti, D., Felici, M., Di Mattia, E., Giovannozzi- Sermani, G. (1996). Substrate specificity of laccase from *Lentinus edodes*, *Acta Biotechnol.* 16: 257–270.
- Del Pilar-Castillo, M., Ander, P., Stenstrom, J. (1997). Lignin and manganese peroxidase activity in extracts from straw solid substrate fermentation, *Biotechnol. Technol.* 11: 701–706.
- Duhalt, V, Davila G. (2006). Enzimas ligninolíticas fúngicas para fines ambientales. Departamento de bioquímica. Universidad Autónoma de México. México.
- Durand, A. (2003). Bioreactor designs for solid state fermentation, *Biochem. Eng. J.* 13: 113–125.
- Durand, A., Renaud, R., Almanza, S., Maratray, J., Diez, M.C. (1993). Desgranges, Solid state fermentation reactors: from lab scale to pilot plant, *Biotechnol. Adv.* 11 (1993) 591–597.
- Elisashvili, V., Kachlishvili, E., Tsiklauri, N., Metreveli, E., Khadziani, T., Agatos, N. (2009). Lignocellulose-degrading enzyme production by white-rot Basidiomycetes isolated from the forests of Georgia. *Microbiol Biotechnol.* Vol. 25. Pp. 331–339.
- Floudas, D., Binder, M., Riley, R., Barry, K., Blanchette, R., Henrissat, B., Martínez, A., Oti-llar, R., Spatafora, J., Yadav, J., Aerts, A., Benoit, I., Boyd, A., Carlson, A., Copeland, A., Coutinho, P., de Vries, R., Ferreira, P., Findley, K., Foster, B., Gaskell, J., Glotzer, D., Gorecki, P., Heitmann, J., Hesse, C., Hori, C., Igarashi, K., Jurgens, J., Kallen, N., Kersten, P., Kohler, A., Kues, U., Kumar, T., Kuo, A., LaBatti, K., Larrondo, L., Lindquist, E., Ling, A., Lombard, V., Lucas, S., Lundell, T., Martin, R., McLaughlin, D., Morgenstern, I., Morin, E., Murat, C., Nagy, L., Nolan, M., Ohm, R., Patyshakuliyeva, A., Rokas, A., Ruiz, F., Sabat, G., Salamov, A., Samejima, M., Scmutz, J., Slot, J., John, F., Stenlid, J., Sun, H., Sun, S., Syed, K., Tsang, A.,

Wiebenga, A., Young, D., Pisabarro, A., Eastwood, D., Martin, F., Cullen, D., Grigoriev, I., Hibbett. (2012). The paleozoic origin of enzymatic lignin decomposition reconstructed from 31 fungal genomes. *Science*. 336: 1715-1719.

Golovleva, L.A., Malt'eva, O.V., Leontevskii, A.A., Myasoedova, N.M., Skryabin, G.K. (1987). Ligninase biosynthesis by the fungus *Panus tigrinus* during solid state fermentation of straw, *Dokl. Akad. Nauk SSSR* 294: 992-995

Hatakka, A., Hammel K. E. (2011). Fungal Biodegradation of Lignocelluloses. *The mycota* Vol. 10. Pp 319-240.

Hofrichter, M. (2002). Review: lignin conversion by manganese peroxidase (MnP). *Enzyme and Microbial Technology*. Vol. 30. Pp. 454-466.

Huang, R., Hippauf, F., Rohrbeck, D., Haustein, M., Wenke, K., Feike, J., Sorrelle, N., Piechulla, B., Barkman, T. (2012). Enzyme functional evolution through improved catalysis of ancestrally noproffered substrates. *PNAS*. 109(8): 2966-2971.

Huerta-Ochoa, S., Nicolas-Santiago, S., Acosta-Hernandez, M., Dayanara, W., Prado-Barragan, L.A., Gutierrez-Lopez, G.F., Garcia- Almendarez, B.E., Regalado-Gonzalez, C. (2003). Production and partial purification of glycosidases obtained by solid state fermentation of grape pomace using *Aspergillus niger* 10, in: G.F. Gutierrez-Lopez, G.V. Barbosa-Canovas (Eds.), *Food Science and Food Biotechnology*, CRC Press LLC, Washington, pp. 119-138.

Leontievsky, A.A., Zavarzina, A., Lisov, A. G., Zavarzin, A.A. (2011). Fungal Oxidoreductases and Humification in Forest Soils. *Soil Enzymology*. Vol. 22. Pp. 207-228.

Lundell, CT., Maketa, MR., Hidén K. (2010). Lignin modifying enzymes in filamentous basidiomycetes ecological, functional and phylogenetic review. Vol. 50. *J Basic Microbiol* Pp 5-20.

Murado, M.A., González, M.P., Torrado, A., Pastrana, L.M. (1996). Amylase production by solid state culture of *Aspergillus oryzae* on polyurethane foams. Some mechanistic approaches from an empirical model, *Proc. Biochem*. 32 (1996) 35-42.

Pal, M., Calvo, A., Terron, M.C., González, A.E. (1995). Solid state fermentation of sugarcane bagasse with *Flammulina velutipes* and *Trametes versicolor*, *World J. Microbiol. Biotechnol*. 11: 541-545.

Pradeep, V., Datta, M. (2002). Production of ligninolytic enzymes for decolorization by cocultivation of white-rot fungi *Pleurotus ostreatus* and *Phanerochaete chrysosporium* under solid-state fermentation, *Appl. Biochem. Biotechnol*. 102-103 :109-118.

- Quintanar-Gómez, S., Arana-Cuenca, A., Mercado Flores, Y., Gracida-Rodríguez, J.N. y Téllez-Jurado, A. (2012). Effect of particle size and aeration on the biological delignification of corn straw using *Trametes* sp. 44. *BioResources*. 7(1):327-344.
- Risso, V.A., Gavira, J.A., Gaucher, E.A., Sánchez, J.M.R. (2014). Phenotypic comparisons of consensus variants versus laboratory resurrections of precambrian proteins. *Proteins*. 82: 887-896.
- Sánchez, C. (2009). Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances*. Vol. 27. Pp. 185-194.
- Saxena, I.M. y Brown, R.M. (2005) Cellulose biosynthesis: current views and evolving concepts. *Annals of Botany* Pp 19-21.
- Tychanowicz, G.K., Zilly, A., Marques de Souza, C.G., Peralta, R.M. (2004). Decolourisation of industrial dyes by solid-state cultures of *Pleurotus pulmonarius*, *Proc. Biochem*. 39: 855–859.
- Voragen, A.G.J. (1992). Tailor-made enzymes in fruit juice processing. *Fruit Processing* 7:98–102.
- Wong, W. S. (2009). Structure and Action Mechanism of Ligninolytic Enzymes. *Appl Biochem Biotechnol*. Vol. 157. Pp. 174-209. *Biotechnology Advances*. Vol. 30. Pp 1447-1457.

VI

PERSPECTIVAS À IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETOS DE BIORREFINARIA BASEADAS NO USO DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS

Luiz Pereira Ramos^{1,2*}, Marcos Henrique Luciano Silveira³, Luana Marcele Chiallo¹, Gustavo Rodrigues Gomes¹, Claudiney Soares Cordeiro¹

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por biomateriais e biocombustíveis tem levado muitas empresas do setor de papel e celulose a considerarem uma eventual expansão de suas atividades industriais em direção à implementação de projetos de biorrefinarias. De acordo com a National Renewable Energy Laboratory (NREL), biorrefinaria é uma instalação que integra equipamentos e processos de conversão de biomassa em combustíveis, energia e insumos para indústria química. Já a definição da International Energy Agency (IEA), biorrefinaria corresponde ao processamento sustentável da biomassa em um espectro de produtos passíveis de comercialização, como alimentos, materiais e insumos químicos. Em ambas as definições, vê-se que o objetivo de uma biorrefinaria é o de promover o aproveitamento integral de recursos renováveis, valorizando coprodutos e minimizando impactos socioambientais como, por exemplo, a geração de efluentes,

1 Centro de Pesquisa em Química Aplicada (CEPESQ), Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná - UFPR, 81531-980, Curitiba, Paraná - Brasil.

2 INCT Energia e Ambiente (INCT E&A), Departamento de Química, UFPR.

3 Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), Piracicaba, São Paulo - Brasil.

* Autor correspondente: 55 41 33613175 - luiz.ramos@ufpr.br

a competição entre a produção de alimentos e de biocombustíveis, o uso desmedido de água no processo e o impacto negativo sobre a biodiversidade, entre outros. Sendo assim, aplicar o conceito de biorrefinaria a matrizes complexas como a biomassa lignocelulósica não é uma tarefa simples, mas o seu desenvolvimento apresenta um grande potencial científico e tecnológico. Tanto que vários trabalhos podem ser encontrados na literatura sobre biorrefinarias associadas à conversão da biomassa (Corma et al., 2007; Laopaiboon et al., 2010; Vyver, et al., 2011; Yang, et al., 2012; Sacia et al., 2014). A **Figura 1** ilustra um resumo das possibilidades envolvidas nas grandes plataformas dos carboidratos e dos compostos fenólicos oriundos da lignina. Este capítulo congrega elementos estruturais destas rotas tecnológicas e ainda aborda alguns princípios da plataforma dos materiais lipídicos, com enfoque especial na química do *tall oil*. Porém, antes de adentrar o tema, segue-se uma abordagem preliminar sobre a química dos principais componentes da biomassa lignocelulósica, envolvendo extrativos, celulose (glucanas), hemiceluloses (polioses) e lignina.

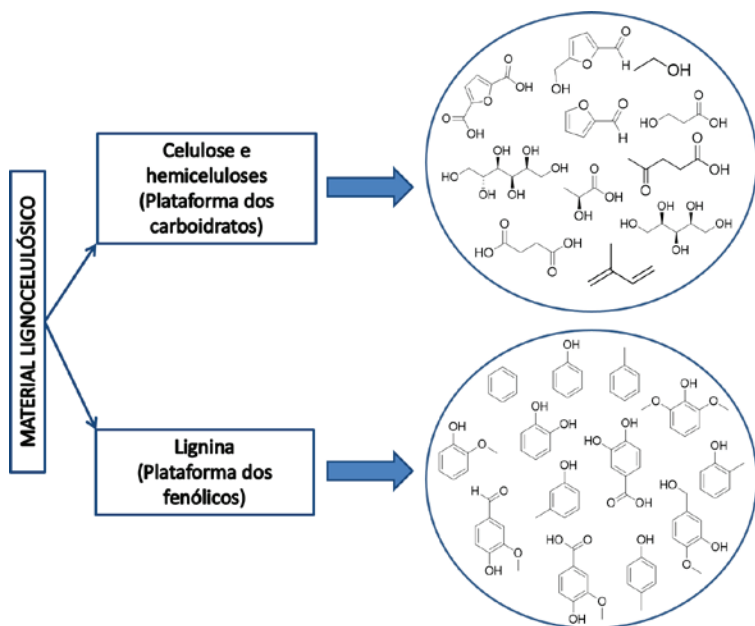


Figura 1. Possíveis compostos para suprir a plataforma de químicos oriundos da biomassa lignocelulósica.

2. QUÍMICA DE BIOMASSA

A celulose é o composto orgânico mais abundante na natureza, pois constitui entre 40-50 % da parede celular de plantas superiores. Trata-se de um homopolissacarídeo constituído por unidades de anidro-D-glicopiranosose unidas por ligações glicosídicas do tipo β -(1,4). A unidade conformacional da celulose é a celobiose (4-O- β -D-glicopiranosil-D-glicopiranosose), enquanto que a glucose representa a sua unidade estrutural básica (Yang et al., 2013). A estrutura da celulose dispõe de regiões mais organizadas, denominadas cristalinas, onde ocorre um arranjo intrincado de interações por ligação de hidrogénio intra e intermoleculares (**Figura 2**). Assim, cadeias lineares organizam-se formando lamelas que também interagem fortemente entre si, justificando as excelentes propriedades físicas e mecânicas do agregado. No entanto, estas regiões também são entremeadas por regiões mais acessíveis e de menor grau de associação, “injustamente” denominadas regiões amorfas (Nishiyama et al., 2002).

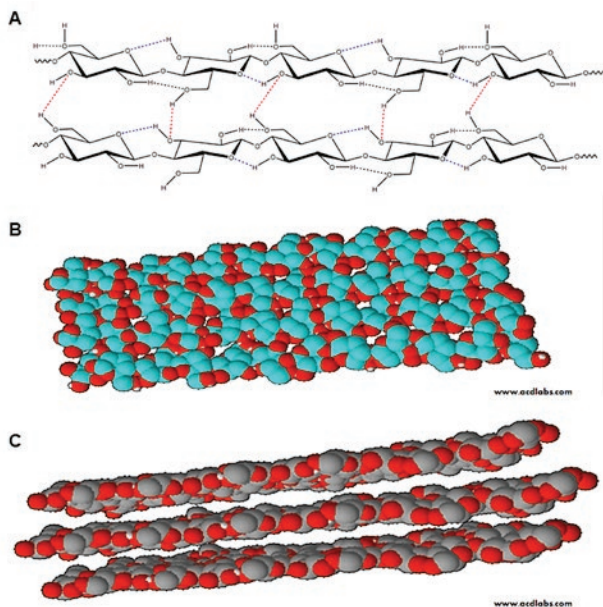


Figura 2. Estrutura da celulose, demonstrando as (A) ligações de hidrogénio intermoleculares (em vermelho) e intramoleculares (em azul), (B) a organização planar das cadeias de celulose e (C) a visão do espaço interplanar do agregado correspondente à estrutura cristalina.

As hemiceluloses correspondem a uma família de heteropolissacarídeos que ocorrem juntamente com a celulose na parede celular. As cadeias de hemicelulose podem ser ramificadas e, neste caso, são menos cristalinas, caracterizando um material de menor organização molecular que é mais suscetível à degradação térmica, biológica ou química do que a celulose (Ferreira et al., 2009). Os monossacarídeos mais comumente encontrados nas hemiceluloses são: D-manose, D-galactose, D-xilose, D-glucose, D-ramnose, D-arabinose, ácido 4-O-metil-D-glucurônico e ácido D-glucurônico (Bon et al., 2008). Estes polissacarídeos estão presentes na parede celular da biomassa em conexão direta com a celulose via ligações de hidrogênio e também se encontram covalentemente ligados à lignina (**Figura 3**), sendo difícil sua remoção sem uma mudança significativa na sua estrutura (Ramos, 2003).

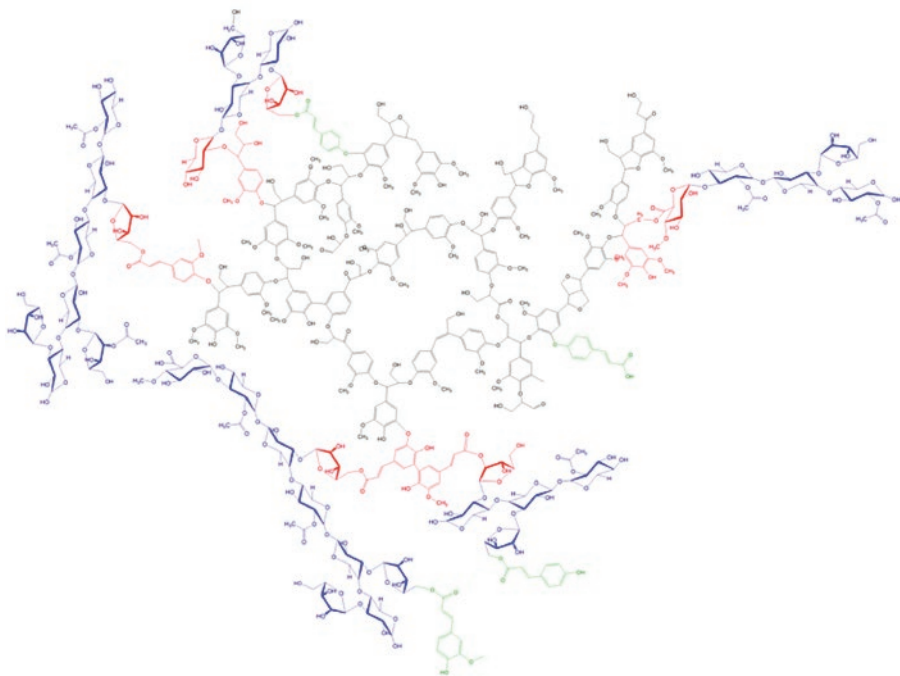


Figura 3. Estrutura hipotética de um complexo lignina-carboidrato de gramíneas, contendo um fragmento de lignina decorado com resíduos de heteroxilanas (adaptado de Vanelli, 2014).

Depois da celulose, a macromolécula mais abundante na natureza é a lignina, que chega a representar 20-30% da biomassa lignocelulósica produzida no planeta. A lignina é conhecida como um polímero altamente ramificado com uma variedade de grupos funcionais, como grupamentos hidroxila ligados a cadeias alifáticas, hidroxilas fenólicas, carboxilas, carbonilas e metoxilas. A abundância de grupos funcionais oferece diferentes possibilidades de modificação química e sugere que a lignina pode assumir um importante papel na química de fitobiomassa, particularmente como fonte de compostos aromáticos (Laurichesse e Avérous, 2014). Trata-se de uma matriz amorfa não polissacarídica, altamente hidrofóbica e complexa, formada por reações de condensação entre derivados do álcool p-hidroxicinâmico com vários graus de metoxilação, cujas estruturas estão representadas na Figura 4 (Fengel e Wegener, 1989). O processo de biossíntese da lignina consiste da desidrogenação enzimática dos álcoois precursores gerando radicais passíveis de deslocalização eletrônica. Estes híbridos de ressonância acoplam-se entre si de maneira randômica levando à formação de um polímero tridimensional que contém uma grande variedade de ligações (Figura 4D), das quais 50% correspondem às ligações aril-éter do tipo β -O-4 (Laurichesse e Avérous, 2014).

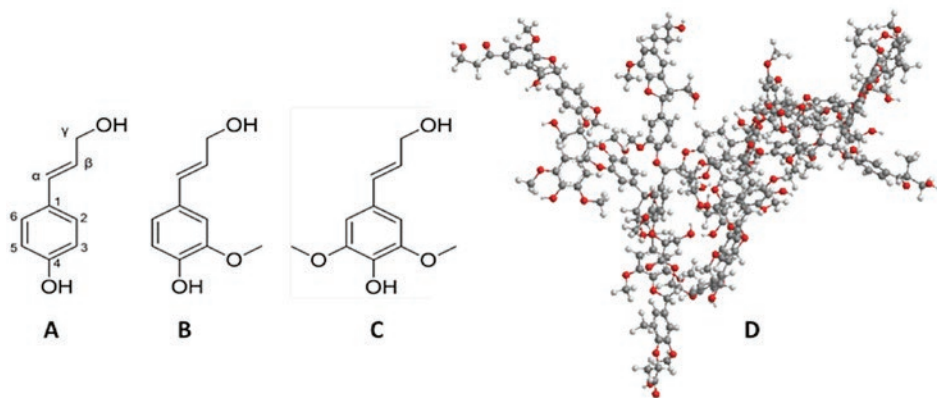


Figura 4. Estrutura dos álcoois (A) cumarílico, (B) coniferílico e (C) sinapílico, e (D) proposta estrutural da lignina conforme Fengel e Wegener (1989).

Além de seus componentes macromoleculares, a lignocelulose também contém componentes de baixa massa molar, os quais incluem uma variedade de compostos orgânicos cuja presença é governada por uma série de fatores, entre os quais os de natureza genética e climática. Os extraíveis geralmente são compostos por lipídeos, ácidos graxos saturados e insaturados, álcoois graxos, compostos fenólicos, terpenos, esteroides, flavonóides, resinas ácidas e ceras, dentre outros compostos orgânicos que se apresentam na forma de monômeros, dímeros e polímeros (Wang et al., 2011; Backlund et al., 2014). Os extraíveis ocorrem na casca, folhas, flores, frutos e sementes e quase sempre a quantidade nessas partes da árvore é proporcionalmente maior que na madeira ou lenho (Klock, 2006).

3. FRACIONAMENTO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES DA BIOMASSA

3.1. Extração de componentes de baixa massa molar

Os extraíveis são compostos de baixa massa molar que não se encontram na parede celular da planta e são frequentemente responsáveis por determinadas características, como cor, cheiro, sabor e resistência natural de agentes decompositores (Morais et al., 2005). Em madeiras, tais extraíveis são compostos majoritariamente por ácidos resínicos e monoterpenos que a protegem da degradação biológica, gorduras, açúcares e outras substâncias de reserva (Sjöström, 1993). Os métodos de extração mais utilizados podem envolver a extração com solventes orgânicos e fluidos supercríticos, além de hidrodestilação e destilação por arraste de vapor, entre outros (Guan et al., 2007).

Diversos solventes orgânicos podem ser utilizados na extração, entre eles éter etílico, clorofórmio, acetona, diclorometano, etanol 95% e até mesmo algumas misturas de solventes, como tolueno: etanol (2:1 v/v). De acordo com a norma TAPPI T204 om-88, é recomendada a retirada dos extraíveis da biomassa empregando uma seqüência de solventes em ordem crescente de polaridade, iniciando com éter etílico e seguindo para diclorometano, etanol:tolueno (1:2, v/v) e etanol 95%. Já a Norma NREL/TP-510-42619 (Sluiter et al., 2008) demonstrou que os extraíveis de gramíneas como o bagaço de cana são mais eficientemente extraídos

com etanol 95%, não sendo necessária a aplicação dos demais solventes. Por outro lado, o uso de uma extração aquosa adicional é muito importante para diversos tipos de biomassa, dada a presença de metabólitos hidrossolúveis e substâncias de reserva importantes como os carboidratos (Morais et al., 2005).

Uma das vantagens da extração com fluido supercrítico é que nenhum traço de solvente permanece no produto, tornando-o mais puro do que aqueles obtidos por outros métodos. Uma vez que efetuada a extração, o solvente retorna ao seu estado gasoso, resultando em sua total eliminação do material extraído (Smith, 1999; Simões e Spitzer, 2003). Entretanto, o custo associado a este processo é muito elevado e o seu uso é apenas viável quando o extrato obtido apresenta alto valor agregado e boa demanda de mercado.

3.2. *Hidrólise ácida*

A hidrólise e remoção das hemiceluloses é um dos principais efeitos do pré-tratamento ácido sobre a estrutura e composição química da biomassa lignocelulósica (Zhao et al., 2012). Isso pode ser explicado pela ocorrência de ligações glicosídicas lábeis em sua estrutura, cuja acessibilidade química advém da heterogeneidade de suas cadeias polissacarídicas. O pré-tratamento ácido é normalmente realizado em altas temperaturas, entre 140 a 200 °C, promovendo acima de 80 % de recuperação das hemiceluloses na forma de um hidrolisado (Lima et al., 2013). Dentre os principais fatores para que um pré-tratamento ácido seja considerado eficiente, destacam-se a temperatura, a concentração do catalisador, o tamanho de partícula do material, o desenho do reator e o tempo de residência da biomassa no seu interior.

Em altas temperaturas e em meio ácido, os carboidratos liberados por hidrólise ácida podem sofrer reações de desidratação formando compostos furânicos como o furfural e o 5-(hidroximetil)furfural (HMF), produtos de desidratação de pentoses e hexoses, respectivamente. Estes compostos são conhecidos por ter ação inibitória sobre as etapas de hidrólise e fermentação para a produção de etanol celulósico (Bellido et al., 2011), sendo, portanto, necessário minimizar a sua concentração no meio mediante a realização de estudos de otimização. Entretanto, HMF e furfural são compostos de alto valor agregado para a indústria por serem passíveis de transformações químicas cujos produtos podem ser utilizados para a produção

de polímeros, fármacos, aditivos para combustíveis e precursores químicos, dentre outras aplicações (Mäki-Arvela et al., 2012; Liu e Chen, 2014).

O mecanismo da reação de desidratação de pentoses e hexoses tem sido assunto de vários debates e propostas, que incluem tanto a ocorrência de intermediários cíclicos como de reações de abertura de anel (Ståhlberg et al., 2010). As **Figuras 5 e 6** trazem propostas de mecanismos de formação de furfural e mecanismos cíclicos e acíclicos para formação do HMF, respectivamente. As rotas propostas apresentam uma etapa de isomerização da glucose para a frutose e a mudança do anel hemiacetálico de seis para cinco membros, que pode ser considerada a etapa determinante da reação de desidratação. Já a lignina também sofre efeito do meio ácido, através da hidrólise das ligações aril-éter do tipo β -O-4 e outras ligações de maior labilidade, liberando derivados de ácidos cinâmicos e produtos de condensação (Ramos, 2003).

A força do ácido empregado no pré-tratamento desempenha um papel muito importante para alcançar elevados rendimentos de recuperação dos monossacarídeos presentes nas hemiceluloses. No entanto, é preciso cuidado porque a utilização de ácidos de Brønsted muito fortes, como o H_2SO_4 (Hideno et al., 2009), na presença de altas temperaturas, pode acelerar a formação de derivados furânicos no meio, diminuindo o rendimento de recuperação de açúcares. Assim, é muitas vezes necessário diminuir a força do ácido ou utilizar ácidos

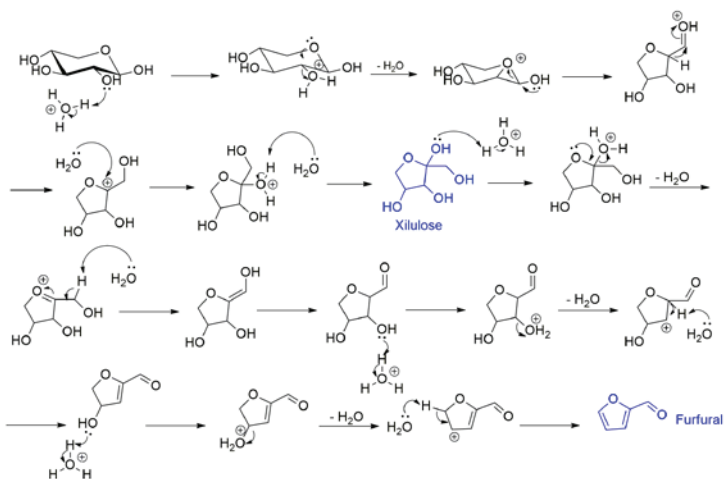


Figura 5. Proposta para o mecanismo de formação do furfural (adaptado de Rasmussen et al., 2014).

mais fracos na reação, como ácidos orgânicos a exemplo dos ácidos acético, málico e oxálico.

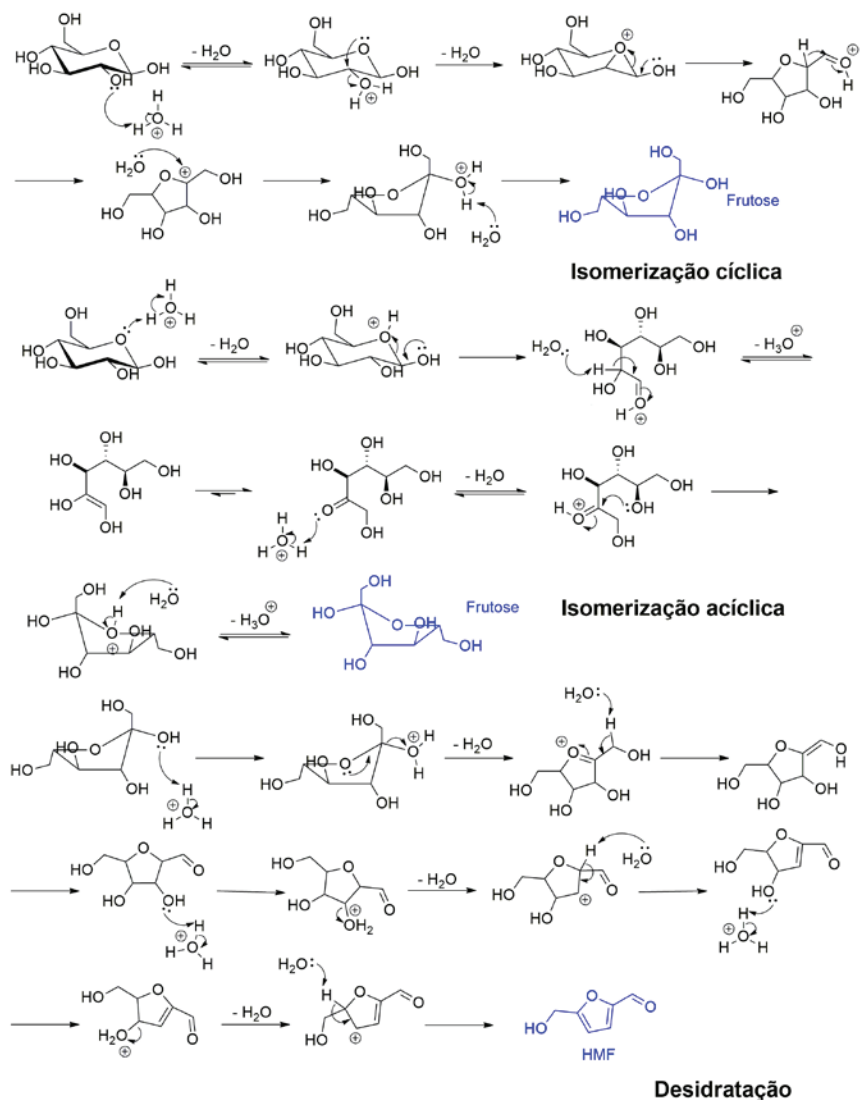


Figura 6. Proposta dos mecanismos de formação do 5-(hidroximetil)-furfural (adaptado de Rasmussen et al., 2014).

3.3. Deslignificação alcalina

Outro método de pré-tratamento aplicado a materiais lignocelulósicos é a deslignificação alcalina, sendo NaOH a base mais utilizada nesse processo. O pré-tratamento alcalino promove intensa deslignificação da biomassa, aumentando a reatividade das fibras sob temperatura e pressão moderadas. Além disto, o custo dos reagentes e do procedimento operacional tende a ser relativamente baixo (Xu et al., 2011).

A principal vantagem do uso de álcali diluído sobre métodos ácidos é a remoção da lignina sem causar degradação dos polissacarídeos da biomassa (Balat et al., 2011). Segundo Kim e Hong (2001), um pré-tratamento efetivo deveria remover todos os grupos acetila e reduzir a quantidade de lignina a 10% e isto se adequa à realidade da deslignificação alcalina. Assim, a remoção da lignina aumenta o acesso aos polissacarídeos da biomassa, facilitando as etapas de hidrólise ácida ou enzimática.

A deslignificação alcalina tem como característica reduzir a cristalinidade da celulose, aumentar a área de contato, romper as ligações mais lábeis dos complexos lignina-carboidrato e, mais importante, desestruturar a lignina através do rompimento das ligações aril-éter do tipo β -O-4, cuja proposta mecanística é apresentada na **Figura 7** (Zheng et al., 2014; Singh et al., 2015).

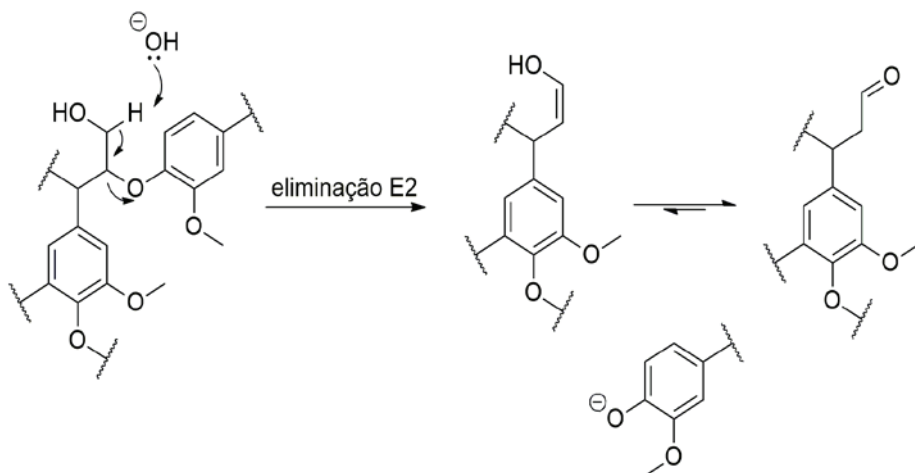


Figura 7. Proposta mecanística da quebra das ligações β -O-4.

De acordo com Smook (1990), o ataque alcalino causa ruptura das moléculas de lignina em fragmentos menores, cujos sais de sódio são solúveis no licor de extração. Em decorrência desse ataque químico, podem ser dissolvidos até 80% da lignina, 50% das hemiceluloses e 10% da celulose. Por esta razão, os rendimentos mássicos do processo são geralmente baixos, em torno de 45 a 50%. O autor afirma ainda que a perda relativamente baixa de celulose é explicada pela baixa acessibilidade dos íons OH às regiões mais cristalinas.

Em geral, a deslignificação parcial promove o inchamento da biomassa (Cardona et al., 2010) e isto facilita ainda mais a migração da água para dentro da estrutura que, uma vez presente, auxilia o rompimento das ligações de hidrogênio entre os polissacarídeos da parede celular (Balat, 2011). Assim, as duas principais consequências do pré-tratamento alcalino podem ser caracterizadas como a diminuição da cristalinidade da celulose e a ruptura da lignina através da clivagem das ligações aril-éter, formando novos grupos hidroxifenólicos. Esta remoção de lignina aumenta a acessibilidade química da celulose, que pode ser atribuída a um aumento na área superficial (Carvalho et al., 2015).

A polpação *kraft* é o processo mais amplamente usado na produção industrial de polpa química da madeira. Sob condições alcalinas, a lignina é degradada e dissolvida (90-95%), deixando celulose e hemiceluloses mais acessíveis na forma de fibras de alta resistência mecânica (Sixta e Schild, 2009). De acordo com Pinto e colaboradores (2005), durante a polpação, os polissacarídeos podem ser parcialmente dissolvidos ou degradados principalmente pela hidrólise e eliminação sequencial a partir dos terminais redutores. Tais reações precisam ser controladas para não afetar a qualidade final das fibras.

O processo de polpação *kraft* representa um dos casos de maior sucesso para o aproveitamento racional e valorização de recursos renováveis (Sixta e Schild, 2009). Porém, apesar disso, este mercado tem apresentado uma evolução relativamente modesta ao longo dos últimos anos. Por outro lado, a demanda por biomateriais e biocombustíveis tem aumentado significativamente e tal realidade tem levado muitas empresas do setor a considerarem uma eventual expansão de suas atividades industriais em direção à implantação de projetos de biorrefinarias.

3.4. *Extração por solventes orgânicos*

Este processo, por muitos denominado *organosolv*, utiliza solventes orgânicos como metanol, etanol, acetona, tetraidrofurano ou etileno glicol para deslignificar seletivamente a biomassa e sua eficiência pode ser aumentada com o uso de um catalisador ácido exógeno (Torre et al., 2013). A principal característica desse processo são as hidrólises das ligações mais internas da estrutura da lignina e do complexo lignina-carboidrato e isso resulta na recuperação de uma lignina mais pura, podendo com isto representar um coproduto de grande interesse comercial (Wildschut et al., 2013).

O processo de *organosolv* exige que o solvente percole a biomassa removendo componentes de baixa massa molar e promovendo, particularmente no caso da catálise ácida, a hidrólise das ligações aril-éter da lignina, o que favorece a sua remoção. Para que seja considerado um bom solvente, este deve apresentar baixa massa molar, baixo custo, grande disponibilidade e baixo ponto de ebulição, de modo a facilitar tanto a extração quanto a sua recuperação e reuso. Entretanto, o uso de solventes orgânicos oferece riscos devido a operação sob altas pressões e a iminência de incêndio devido a sua alta inflamabilidade (Mood et al., 2013).

3.5. *Líquidos iônicos (LIs)*

Líquidos iônicos são compostos por cátions e ânions cujas forças de atração permitem que estas espécies encontrem-se no estado líquido abaixo de 100°C. Diferentemente de solventes orgânicos convencionais, os LIs apresentam pressão de vapor negligenciável e suas propriedades, como polaridade e miscibilidade em água ou em solventes orgânicos, podem ser alteradas pela modificação do cátion e do ânion presente na estrutura (Rantwijk e Sheldon, 2007).

Na química de biomassa os líquidos iônicos tem importância devido a sua capacidade de solubilização de polissacarídeos mediante o rompimento de interações intermoleculares (Gräsvik et al., 2014). Portanto, mais do que um processo de pré-tratamento clássico, a dissolução de biomassa em LIs pode ser uma ferramenta para o fracionamento seletivo visando agregar valor aos componentes majoritários da biomassa (Lopes et al., 2013). Os principais LIs empregados na dissolução de biomassa são os alquilimidazólios, principalmente os que conte-

nam ânions haleto em sua composição. Ânions acetato também são eficientes para este propósito e a eficiência na dissolução de lignocelulose ocorre principalmente pela formação de ligações de hidrogênio entre o ânion e os grupos hidroxilas dos polissacarídeos (Remsing et al 2006; Silveira et al., 2015). Portanto, é importante mencionar que a interação do ânion é predominante à interação cátion. Além disso, o cátion imidazólico pode interagir com compostos fenólicos como a lignina, configurando um processo complexo que naturalmente exige diferentes condições de pré-tratamento (temperatura, tempo, anti-solvente utilizado, conteúdo de água, e a relação LI:biomassa) para diferentes Lis, bem como para o tipo, tamanho e teor de umidade da lignocelulose empregada.

De maneira geral, a dissolução em LI depende do contato com a biomassa por um determinado tempo e temperatura sob pressão atmosférica. Neste processo, a biomassa é dissolvida e ao ser regenerada pela adição de um anti-solvente como a água, produz um material com propriedades diferentes daquelas apresentadas pelo material de partida. Geralmente, o substrato obtido apresenta alto teor de polissacarídeos ao passo que a lignina é retida na fração líquida (Fort et al, 2007). Além de deslignificar a biomassa, o pré-tratamento com LIs também reduz a cristalinidade da celulose (Silva et al., 2013), levando a um aumento da susceptibilidade deste à bioconversão (Sant'ana da Silva et al., 2011).

3.6. *Processos oxidativos*

Um pré-tratamento oxidativo consiste na utilização de um agente oxidante forte como peróxido de hidrogênio ou um peroxiácido em meio básico para deslignificar seletivamente a biomassa. O peróxido é instável em condições alcalinas e decompõe-se em radicais hidroxila e superóxido, sendo estes os responsáveis pela oxidação da estrutura da lignina. Porém, mudanças nas propriedades físicas e morfológicas da celulose sugerem que uma parcela de sua estrutura também pode ser comprometida durante o tratamento (Rabelo, 2010).

Além da desconstrução da estrutura da lignina, os radicais hidroxila também são capazes de romper as ligações glicosídicas das hemiceluloses, removendo-as da estrutura da parede celular e tornando a celulose mais acessível às etapas posteriores de conversão. Em muitos casos, o agente oxidante empregado também pode gerar inibidores de fermentação devido à liberação de compostos

aromáticos provenientes da oxidação da estrutura da lignina (Hendriks e Zeeman, 2009).

Além do emprego de peróxidos como agente oxidante, outros agentes como oxigênio e ozônio podem ser empregados para o fracionamento de materiais lignocelulósicos. O método em que se emprega o oxigênio é chamado de oxidação úmida e essa técnica ocorre em temperaturas acima de 120°C, pressões na faixa de 0,5 a 2 MPa e tempos de reação de aproximadamente 30 min. A oxidação úmida tem como característica a solubilização e a hidrólise de complexos lignina-carboidrato, que é acelerada pela formação de ácidos orgânicos a partir das reações de oxidação de açúcares e compostos fenólicos (Mood et al., 2013).

Já o processo que emprega ozônio como oxidante, denominado ozonólise, apresenta os mesmos efeitos da oxidação úmida com a vantagem de ser realizado na temperatura ambiente e sob pressão atmosférica. Em ambos os processos, não há evidências de que sejam formados inibidores de fermentação que possam comprometer o uso destes substratos para a produção de combustíveis, solventes ou insumos químicos (Gitifar et al., 2013).

4. EXPLOSÃO A VAPOR

Um dos processos de fracionamento mais utilizados até o momento é a explosão a vapor (Cara et al., 2008; Carrasco et al., 2010; Ramos et al., 2015), cujo princípio está baseado na hidrólise ácida. Este tipo de pré-tratamento é conhecido por atuar tanto química quanto fisicamente na estrutura da biomassa (Ramos, 2003). Assim, a explosão a vapor aumenta a acessibilidade química da celulose por promover a desconstrução da estrutura associativa da parede celular vegetal, aumentando a sua área de contato particularmente através da remoção parcial das hemiceluloses (Pitarelo et al., 2012; Schütt et al., 2012; Martin-Sampedro et al., 2014). Entretanto, o efeito do pré-tratamento é dependente da composição da biomassa e das condições experimentais empregadas (Hendriks e Zeeman, 2009). Este processo pode ocorrer na ausência ou na presença de catalisadores exógenos, conforme descrito abaixo.

A explosão a vapor tem sido a principal estratégia de fracionamento da biomassa em nossos laboratórios durante as últimas décadas (Ramos, 2003;

Brugnago et al, 2011; Pitarelo et al., 2012; Aguiar et al., 2013; Ramos et al., 2015; Scholl et al., 2015). Atualmente, o grupo dispõe de um reator de aço inox com capacidade para 10 L (**Figura 8**), provido de sensores para controle da temperatura e do tempo de reação. A pressão é controlada na entrada principal do vapor, cuja injeção no reator é dividida em 3 (três) vias, todas providas de válvulas de alta pressão, o que proporciona uma melhor eficiência térmica e, portanto, uma maior homogeneidade durante o pré-tratamento. O reator está acoplado a uma caldeira geradora de vapor, um compressor de ar e um ciclone, que é empregado para a descarga do material e escape de vapores.



Figura 8. Imagem do reator de explosão a vapor instalado na Universidade Federal do Paraná.

4.1. Auto-hidrólise

Na explosão a vapor, a biomassa é tratada com vapor saturado a temperaturas entre 140 e 240 °C por alguns minutos e, em seguida, é submetida a uma rápida descompressão à pressão atmosférica (Ramos, 2003). Este pré-tratamento é também conhecido como auto-hidrólise quando realizado na ausência de catalisadores exógenos como, por exemplo, H_2SO_4 e H_3PO_4 . Quando a biomassa entra em contato com o vapor saturado sob alta pressão, ocorre a desacetilação das hemiceluloses e o ácido acético liberado *in situ* ca-

talisa a hidrólise de suas ligações glicosídicas. Além disso, a explosão a vapor pode liberar produtos de desidratação de hemiceluloses (HMF e furfural) e inibidores das etapas de hidrólise e fermentação, como compostos aromáticos e o próprio ácido acético.

O aumento da severidade do pré-tratamento (aumento da temperatura e/ou do tempo de residência do material no reator) favorece as reações de hidrólise da celulose e das hemiceluloses e provoca o início das reações de desidratação das pentoses e hexoses (Hendriks e Zeeman, 2009). A relação entre tempo e temperatura do pré-tratamento foi definida por Overend e colaboradores (1987) como sendo o seu fator de severidade, ou $\log R_0$. Quando $\log R_0 < 4$ considera-se um pré-tratamento é brando; portanto, acima deste valor de referência ele pode ser considerado drástico (Heitz et al., 1991).

4.2. *Catálise exógena*

Ao se empregar catalisadores exógenos no processo de explosão a vapor, como soluções diluídas de H_2SO_4 (Emmel et al., 2003; Cara et al., 2008) ou H_3PO_4 (Gámez et al., 2006), CO_2 (Kim e Hong, 2001) e SO_2 (Carrasco et al., 2010), é possível aumentar a seletividade do pré-tratamento e de reduzir o tempo e a temperatura necessários para a sua otimização. Os mais comumente utilizados são H_2SO_4 e SO_2 , sendo esse último mais seletivo para a extração de lignina quando seguido por uma etapa de lavagem alcalina.

A pré-impregnação com H_3PO_4 ($pK_a = 2,12$), se comparada com ácidos fortes como o H_2SO_4 (pK_a negativo), apresenta menor poder destrutivo sobre as pentoses e por isto gera menor acúmulo de furfural no meio de reação (Gámez et al., 2006). Outra vantagem deste ácido é o seu potencial de ação como fonte de nutrientes para o processo de fermentação, na forma de fosfato de amônio (Geddes et al., 2010). Inclusive, a acidez do meio pode ser incorporada no cálculo do fator de severidade, gerando o que foi inicialmente definido como o fator de severidade combinado ($FSC = \log R_0 - pH$) (Chum et al. 1990).

Em suma, para ser considerado efetivo, o pré-tratamento escolhido deve ser economicamente viável e limitar a geração de efluentes e resíduos (Gitifar et al., 2013). Além disto, deve produzir substratos suscetíveis aos processos de hidrólise e não gerar inibidores à fermentação.

5. CONVERSÃO DA BIOMASSA EM COMBUSTÍVEIS E INSUMOS QUÍMICOS

5.1. Plataforma lipídica, com ênfase em tal oil

O processo *kraft*, desenvolvido pelo químico alemão Carl F. Dahl em 1879, é o mais utilizado no Brasil para obtenção de polpa de celulose. Neste método, cavacos de madeira são tratados com uma solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), chamado “licor branco”. O digestor utilizado no processo é mantido a elevadas pressões e temperaturas. Como consequência, a lignina é fragmentada em substâncias de baixa massa molar que se solubilizam na solução alcalina, podendo então ser removidas nas etapas de lavagem (Santos et al., 2001).

A madeira contém de 1-5 % de um material resinoso insolúvel em água e solúvel em solventes orgânicos apolares (Dorris et al., 1982). Este material é parcialmente saponificado no processo de polpação da celulose, dando origem a parte do “licor negro” que, após decantação e acidificação, gera o *tall oil* bruto ou *crude tall oil* (CTO), que é o principal subproduto da digestão da madeira de coníferas. Após passar por um processo de purificação, este material origina o *tall oil* e terebentina como subproduto, que é recuperada do processo por condensação de um efluente gasoso (Nogueira, 1995).

O CTO possui em sua composição química mais de cem componentes individuais. Embora esta composição esteja intrinsecamente ligada à escolha da madeira utilizada no processo de polpação, tipicamente são encontrados: (a) ácidos graxos saturados e insaturados (30-60%); (b) ácidos resínicos diterpênicos (40-60%) e; substâncias insaponificáveis (7-10%). Os principais ácidos graxos são o oleico, o palmítico e o linoleico. Os ácidos resínicos são derivados de reações de oxidação e polimerização de terpenos, sendo comum a presença dos ácidos abiético e pirâmico. As substâncias insaponificáveis, também chamadas de substâncias neutras, são aquelas que não reagem com a solução alcalina. Nesta classe estão incluídos hidrocarbonetos, álcoois superiores e esteróis (Nogueira, 1995). Na década de 1990, os maiores produtores de CTO eram os Estados Unidos, com 840.000 ton ano⁻¹, e a Escandinávia, com 315.000 ton ano⁻¹. Estima-se que o mercado global seja de aproximadamente 1.500.000 ton ano⁻¹ (Sales, 2007).

A primeira unidade para separação dos componentes CTO foi construída na Suécia em 1901. Deste então, foram propostos vários processos industriais visando à sua produção com elevado grau de pureza. Em 1920 surgiu na Suécia uma unidade para produção de *tall oil* destilado, porém, o produto obtido era de baixo grau de pureza. O desenvolvimento de um processo contínuo em 1936 proporcionou a obtenção de uma fração resínica com 70% de pureza e uma fração rica em ácidos graxos com 94% de pureza. Entretanto, problemas de cristalização ainda persistiam. Estes problemas só foram resolvidos na década posterior com um processo de refino ácido prévio à destilação, em que o material bruto era dissolvido em ácido sulfúrico concentrado (88-100%), eliminando-se assim a coloração escura e os odores característicos (Eick, 1957; Nogueira, 1995).

Na década de 1940, a empresa norte-americana *Arizona Chemical* adaptou técnicas de destilação do petróleo utilizadas na época para processamento do CTO, possibilitando assim o fracionamento dos ácidos resínicos e dos ácidos graxos com a obtenção de produtos elevada pureza (Nogueira, 1995). Atualmente, os ácidos graxos de *tall oil* comerciais apresentam no máximo 1% de contaminação com ácidos resínicos (Sales, 2007).

As frações obtidas em um processo de separação dos componentes do CTO por destilação são mostrados na **Figura 9**. A fração de maior massa molar, denominada *pitch*, corresponde a esteróis, hidrocarbonetos, álcoois graxos e ceras. Normalmente, esta fração é utilizada como combustível (Sales, 2007).

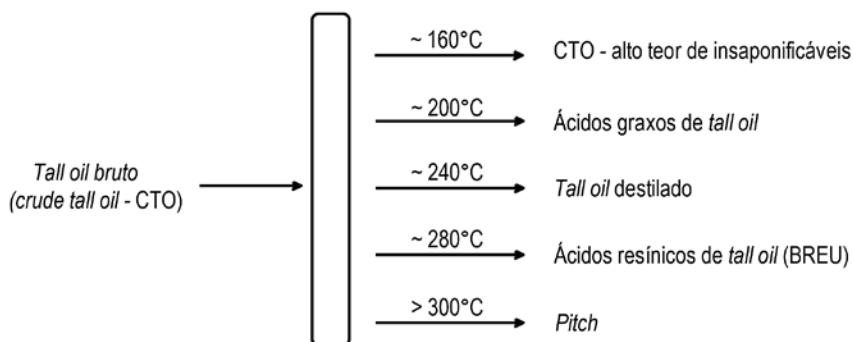


Figura 9. Fracionamento do *tall oil* bruto (CTO – crude tall oil).

A cromatografia em fase gasosa (GC) é o método analítico mais utilizado para determinação da composição química do CTO. Previamente, os ácidos resínicos e os ácidos graxos são derivatizados aos ésteres metílicos correspondentes. A **Figura 10** mostra dois métodos comumente utilizados nas derivatizações (McGuire e Powis, 1998; Taylor e King, 2001; Lamoureux e Agüero, 2009).

McGuire e Powis (1998) identificaram vinte e cinco compostos utilizando um CG equipado com uma coluna capilar (30 m x 0,25 mm) SP-2380 (90% biscianopropil – 10% fenilcianopropil polisiloxano), detector de ionização de chama, hélio como gás de arraste, temperatura do forno de 150°C e *split* 100:1. Outros autores, utilizando técnicas análogas, também identificaram várias substâncias em amostras de CTO (Holmbom, 1977; Dorris et al., 1982; Andrawes et al., 1989; Pyl et al., 2012; Taylor e King, 2001).

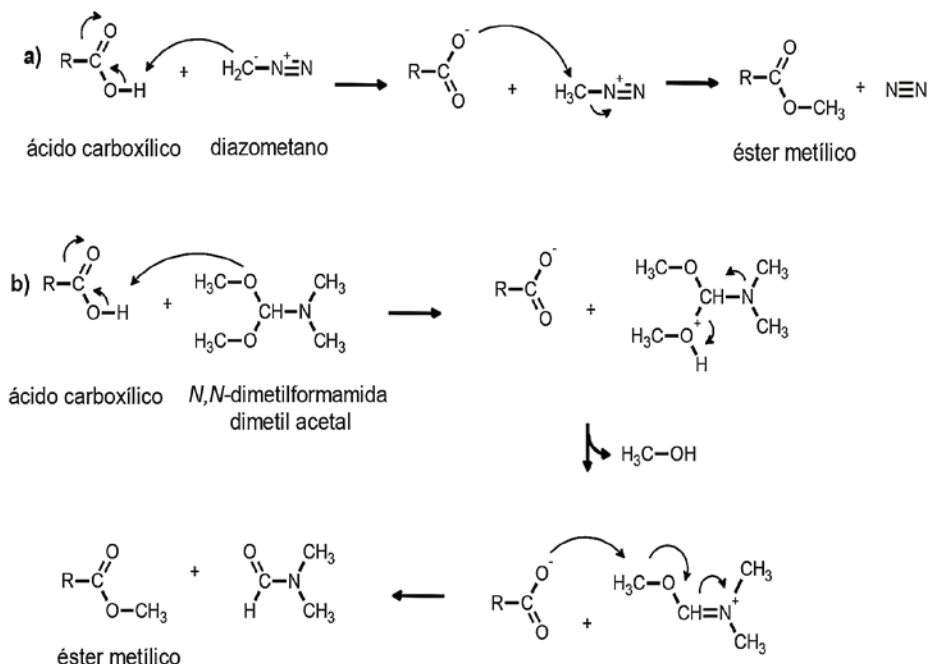


Figura 10. Esterificação de ácidos carboxílicos via (a) diazometano e (b) *N,N*-dimetilformamida dimetila acetal. “R” representa um grupamento alquila.

O *tall oil* apresenta várias aplicações industriais. Os ácidos resínicos são utilizados no processo de polimerização da borracha, para conferir hidrofobicidade ao papel e para a confecção de adesivos, entre outras aplicações. Os ácidos graxos são utilizados na produção de sabões, detergentes, desinfetantes, bases para fabricação de graxas, óleos têxteis, óleos de corte, polidores de metal e também na síntese de monoésteres alquílicos de ácidos graxos, que podem ser utilizados como insumos para processos químicos ou como combustível alternativo ao diesel de petróleo (biodiesel) (Nogueira, 1995; Sales, 2007; Cordeiro et al., 2011).

Os ácidos graxos de *tall oil* (TOFA) são matéria-prima em potencial para produção do biodiesel com várias vantagens sobre as outras fontes lipídicas alternativas. Como o TOFA não possui acilgliceróis em sua composição química, os monoésteres graxos produzidos são de mais fácil purificação e também não há geração do coproduto glicerina, como ocorre no processo tradicional de produção. Como na composição química do TOFA figuram essencialmente ácidos graxos, o biodiesel é obtido por um processo esterificação, que possui cinética de reação mais favorável que o processo de transesterificação de triacilgliceróis.

Cordeiro et al. (2008) utilizaram ácidos graxos de *tall oil* para produção de biodiesel. A evolução das curvas de acidez mostrou que a condição de equilíbrio químico é alcançada em menos de 1 h de reação. Obteve-se conversão em monoésteres metílicos superiores a 96% utilizando-se razão molar (RM) álcool:TOFA de 8:1, 0,5% de catalisador H_2SO_4 (v/v) e 1 h de reação. Pissarelo et al. (2008) demonstraram que a esterificação etílica dos ácidos graxos de *tall oil* também atinge uma condição de equilíbrio em menos de 1 h de reação.

Ésteres metílicos, etílicos e isopropílicos de ácidos graxos de *tall oil* foram obtidos por Kurzin et al. (2007) utilizando vários catalisadores. O ácido *p*-toluenossulfônico se mostrou o catalisador mais ativo entre os testados, seguido por H_2SO_4 , resina Amberlyst-15 e cloreto de zinco.

As reações de esterificação em meio homogêneo usualmente apresentam rendimento elevados quando conduzidas de maneira adequada (Cordeiro et al., 2011). Porém, as etapas de purificação oneram o processo, pois o catalisador ácido precisa ser completamente removido do meio. Também é preciso considerar que uma pequena quantidade de ácidos de Brønsted-Lowry remanescentes pode catalisar a hidrólise de monoésteres graxos e levar a problemas de corrosão

em tanques de armazenamento. Sendo assim, o uso de sólidos catalíticos nestes processos é uma alternativa promissora.

Várias classes de materiais têm sido utilizadas como catalisadores em reações de esterificação de ácidos graxos, entre estes, pode-se destacar as zeólitas, óxidos inorgânicos, sais inorgânicos, compostos de coordenação, resinas trocadoras de íons e materiais lamelares (Cordeiro et al., 2011). Alguns destes materiais já foram utilizados na esterificação de ácidos graxos de *tall oil*.

Cordeiro et al. (2008) utilizaram o óxido de nióbio ($\text{Nb}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, comercialmente HY-340) como catalisador na esterificação metílica de ácidos graxos de *tall oil*. Foi obtida conversão superior a 89% quando a reação foi conduzida a 130°C, com RM 2,5:1, por 2 h e com 12 % de catalisador. O $\text{Nb}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ é utilizado industrialmente como catalisador na esterificação de misturas de ácidos graxos obtida da hidrólise de óleo de palma (Suarez et al., 2009).

Vários hidróxidos duplos lamelares (HDLs) do sistema Zn/Al intercalados com íons nitrato, cloreto e carbonato foram utilizados como catalisadores em reações de esterificação do ácido láurico, de uma mistura comercial de ácidos graxos e também na esterificação dos ácidos graxos de *tall oil*. Em alguns casos foram obtidas conversões da ordem de 96% em monoésteres metílicos, quando a reação foi conduzida a 140°C, com RM metanol:ácido graxo de 6:1, com 2% de catalisador por 2 h. Entretanto, novamente a análise dos sólidos recuperados após as reações mostrou que todos os HDLs foram convertidos em carboxilatos, sendo este o catalisador ativo, que pode ser reutilizados por vários ciclos de reação sem perder a atividade catalítica (Cordeiro, 2008; Cordeiro et al., 2012).

O hidroxinitrato de zinco ($(\text{Zn}_5(\text{OH})_8(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$, um hidroxissal lamelar) também já foi testado como catalisador em reações de esterificação dos ácidos láurico, esteárico e de uma mistura de ácidos graxos de *tall oil*. Foi obtida conversão de 94,6% em monoésteres metílicos quando a reação foi conduzida com RM 6:1, a 140°C, com 2% de catalisador por 2 h. Assim como ocorreu com os HDLs, foi constatado ao final do processo que o hidroxissal foi convertido em carboxilato de zinco (Cordeiro, 2008; Cordeiro et al., 2008).

A atividade catalítica dos carboxilatos lamelares pode ser racionalizada analisando o mecanismo de reação proposto na **Figura 11** (Yan et al., 2009). Observa-se que as moléculas de ácidos graxos são adsorvidas na superfície do catalisador

e, devido à interação ácido-base entre o par de elétrons não ligantes do oxigênio carbonílico do ácido graxo e o metal presente na estrutura do catalisador, há um aumento na densidade de carga positiva no carbono carbonílico, favorecendo o ataque nucleofílico do par de elétrons da hidroxila alcoólica com a consequente formação de um intermediário tetraédrico. Este intermediário elimina uma molécula de água e o monoéster graxo formado permanece adsorvido na superfície do catalisador. Com a desorção do monoéster, a superfície do catalisador fica livre para participar dos próximos ciclos catalíticos (Cordeiro et al., 2012).

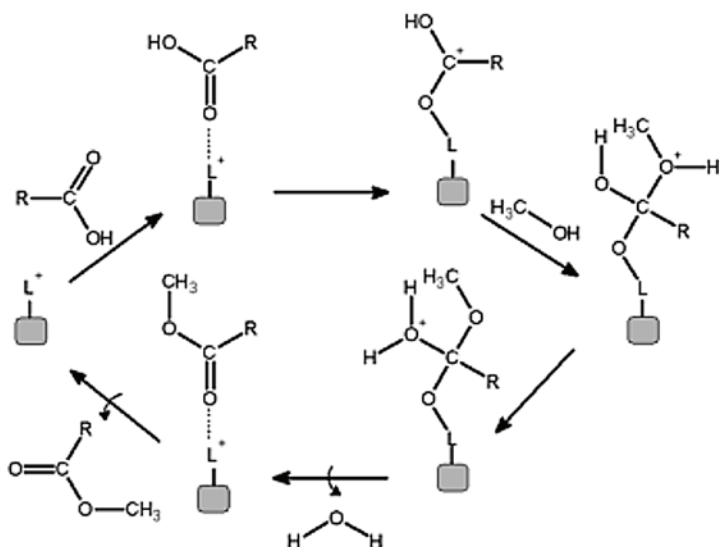


Figura 11. Mecanismo de esterificação em meio heterogêneo. “L” representa o sítio ácido de Lewis e “R”, o radical do ácido graxo.

5.2. Plataforma dos carboidratos

Os carboidratos são considerados a maior fonte renovável do planeta, compondo 75% da biomassa da Terra (Ferreira et al., 2009). A partir dos polissacarídeos presentes na biomassa lignocelulósica (celulose e hemiceluloses), pode-se obter diversos compostos os quais podem ser aplicados em diversos setores in-

dustriais, como biocombustíveis ou insumos químicos. Segundo a classificação feita por Bozell et al. (2010), que revisou o estudo feito pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL) em 2004 (Werpy e Petersen, 2004), os compostos mencionados a seguir são classificados como os principais produtos de alto valor agregado oriundos dos carboidratos presentes na biomassa.

Na produção de insumos químicos é possível obter vários compostos de alto valor agregado como, por exemplo, ácido láctico, ácido succínico e 3-hidroxipropiônico, através de processos fermentativos empregando hexoses como fonte de carbono, sendo muito empregados principalmente nas indústrias polimérica e farmacêutica (Zeikus et al., 1999; Pervaiz e Correa, 2009; Kobayashi e Fukuoka, 2013). A partir da reação de hidrogenação de glicose e xilose obtém-se sorbitol e xilitol, respectivamente, com aplicação majoritariamente na indústria alimentícia. Além destes, o isopreno pode ser obtido de carboidratos tanto por processos fermentativos quanto por processos químicos.

Já entre os compostos obtidos via processos químicos, pode-se destacar os derivados furânicos como furfural e 5-(hidroximetil)furfural (HMF), que são respectivamente oriundos da desidratação de pentoses e hexoses em meio ácido e sob elevadas temperaturas. Estes compostos furânicos são passíveis de transformações químicas cujos produtos podem ser utilizados na produção de polímeros e aditivos para combustíveis, entre outras aplicações (Liu e Chen, 2014; Mäki-Arvela et al., 2012).

Também se destacam o ácido 2,5-furanodicarboxílico, composto resultante da oxidação total dos grupamentos laterais do HMF, e o ácido levulínico, oriundo da reidratação de furfural ou HMF sob as mesmas condições de acidez e temperatura. O primeiro é considerado um importante composto para a produção de polímeros alternativos ao ácido tereftálico para a produção poliésteres, em especial o PET (Siankevich et al., 2014), e o último tem aplicação como anti-congelante, corante na indústria têxtil e aditivo para ração animal e tintas, dentre outras (Werpy e Petersen, 2004; Morone et al., 2015)

Além dos produtos mencionados acima, biocombustíveis oxigenados como o biobutanol e o etanol também podem ser produzidos, ambos por processos fermentativos. Assim como o etanol, o butanol é empregado como biocombustível com a vantagem de ter maior alto poder calorífico, menor pressão de vapor e

melhor compatibilidade com os motores existentes no mercado (Kobayashi e Fukioka, 2013; Maity, 2015). Além disto, o butanol também tem grande potencial para a produção de insumos como acetato de butila, dibutiléter e propionato de butila, podendo ainda ser utilizado na síntese de precursores poliméricos como acrilato de butila e metacrilato de metila, ou de plastificantes como ftalatos de butila e citrato de tributila (Maity, 2015).

O etanol celulósico, a exemplo do butanol, pode ser produzido pela fermentação dos carboidratos liberados pela hidrólise dos polissacarídeos presentes na biomassa vegetal. Este processo depende da realização de cinco operações unitárias sequenciais (Cara et al., 2008; Bensah et al., 2015): (1) coleta e preparo da biomassa vegetal; (2) pré-tratamento, que visa aumentar a acessibilidade dos carboidratos à bioconversão; (3) hidrólise enzimática, que converte

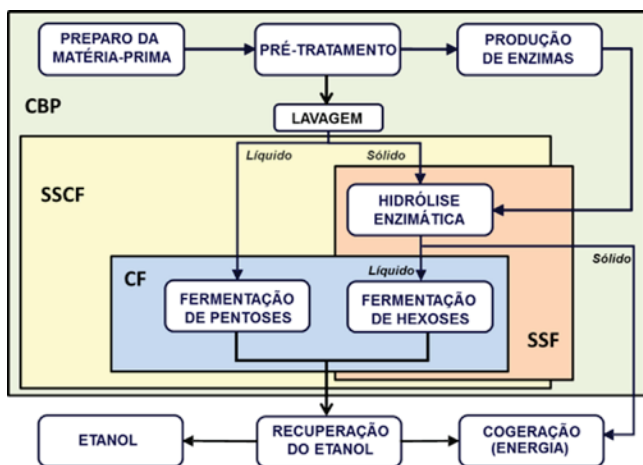


Figura 12. Fluxograma da produção de etanol celulósico, mostrando as possibilidades de integração entre diferentes operações unitárias.

os carboidratos em açúcares fermentescíveis; (4) fermentação microbiana, que é responsável pela produção de etanol; e, finalmente, (5) recuperação do etanol por destilação. Conforme apresentado na **Figura 12** para pré-tratamentos ácidos de fitobiomassa, tais etapas podem ser realizadas em unidades independentes ou integradas, sendo que a integração destas visa reduzir o seu custo operacional.

A fermentação é a última etapa para a produção de etanol e esta pode ser realizada em separado ou simultaneamente à hidrólise enzimática, sendo que estas possibilidades dão origem aos processos de hidrólise e fermentação separados (*SHF*) e fermentação e sacarificação simultâneas (*SSF*). No processo *SHF*, o material lignocelulósico obtido após o pré-tratamento é submetido à hidrólise enzimática por um período que varia de 48 a 96 horas. Após a sacarificação da celulose, o hidrolisado resultante é fermentado e convertido a etanol em um reator separado (Sanchez e Cardona, 2008). A principal vantagem deste processo é permitir que os processos de hidrólise enzimática e fermentação ocorram em suas condições ótimas (Santos et al., 2010). Por outro lado, no processo *SSF*, enzimas e leveduras são adicionadas ao mesmo tempo no reator, o que reduz o tempo de processamento e a inibição das celulasas pelo acúmulo de seus produtos de hidrólise (celobiose e glucose), uma vez que a glucose liberada por hidrólise é rapidamente convertida a etanol pelos microrganismos da fermentação (Watanabe et al., 2010). A desvantagem deste processo está associada à diferença de temperatura ótima para as enzimas hidrolíticas ($\sim 50^{\circ}\text{C}$) e os microrganismos de fermentação ($\sim 30^{\circ}\text{C}$) (Binod et al., 2010).

A cofermentação (*CF*) consiste no emprego de microrganismos que apresentam capacidade de fermentação de pentoses e hexoses, podendo ser realizada pelo uso simultâneo de dois ou mais microrganismos. Como esta habilidade não é comumente encontrada na natureza, a realização deste processo depende da modificação genética de microrganismos hospedeiros, como alguns tipos de leveduras industriais (Schittler et al., 2012).

O processo de sacarificação e cofermentação simultâneas (*SSCF*) representa a integração dos processos de *SSF* e *CF* (Cardona et al., 2010). Por fim, a estratégia de bioprocessos consolidados (*CBP*) seria a realização de *CF* e produção de enzimas realizadas por um único microrganismo. Entretanto, os processos de *SSCF* e *CBP* são inteiramente dependentes de técnicas genéticas para serem consolidados (Schittler et al., 2012).

O bioetanol é considerado atualmente um dos mais importantes biocombustíveis no cenário mundial. Além de importância como combustível renovável, o etanol é uma importante plataforma industrial dentro do conceito de biorefinaria, pois, a partir dele, pode ser produzida uma grande variedade de

compostos estratégicos para diversos setores industriais, como no caso da síntese de etileno para produção de materiais poliméricos, processo conhecido desde o início do século 20 que emprega reatores de leito fluidizado sobre Al_2O_3 ativado (Bozell e Petersen, 2010). Cabe aqui um destaque para empresa brasileira Braskem, que polietileno verde em escala comercial a partir do etanol proveniente da sacarose da cana-de-açúcar.

Outro importante produto de desidratação do etanol é o dietiléter, que é produzido em temperaturas inferiores, na faixa entre 150 a 200°C. O etileno é o produto preferencial quando a reação é conduzida na faixa de 200 a 300°C e, acima de 300°C, podem-se produzir hidrocarbonetos de baixa massa molar e compostos aromáticos utilizados na produção de combustíveis e aditivos (Maity, 2015). O etanol pode ainda ser oxidado empregando catalisadores a base de ouro, como Au/TiO_2 ou $\text{Au/MgAl}_2\text{O}_4$, com uma seletividade para a produção de ácido acético acima de 95% (Bozell e Petersen, 2010). E a partir da hidrogenação do ácido acético, pode-se produzir o acetaldeído em condições relativamente brandas utilizando catalisadores à base de cobre (Maity, 2015).

5.3. *Plataforma dos compostos fenólicos*

Até pouco tempo atrás, a lignina era vista como resíduo da indústria de papel e celulose, apenas sendo queimada de modo a suprir o gasto energético da própria indústria. Entretanto, a abundância de grupos funcionais presentes na estrutura da lignina oferece diferentes possibilidades de modificação química que podem assumir um importante papel para o setor produtivo. Frente ao conceito de biorrefinaria, a lignina tem aplicabilidade em outros setores industriais, como na geração de combustíveis e energia, no desenvolvimento de novos materiais poliméricos e na obtenção de compostos aromáticos que servem como material de partida para inúmeros insumos químicos (Laurichesse e Avérous, 2014).

A lignina é a maior fonte renovável de compostos fenólicos e, devido ao seu baixo custo, há interesse em empregá-la como matéria-prima para a produção de benzeno, tolueno, xileno, fenol, derivados de ácidos cinâmicos como a vanilina, diácidos aromáticos e poliois aromáticos, entre outros. Para que a obtenção desses produtos seja possível, são necessários catalisadores seletivos às transfor-

mações químicas de interesse, como a remoção de grupos funcionais oxigenados para obtenção de benzeno tolueno e xileno e a oxidação seletiva na produção de vanilina e de diácidos aromáticos (Holladay et al., 2007).

A lignina é ainda um excelente material para aplicação em processos térmicos como combustão (como fonte de energia), gaseificação (para produção de metanol, dietil éter, olefinas e hidrocarbonetos) e pirólise (para a produção de biocarvão e bio-óleos passíveis de aplicação na indústria petroquímica). Tais processos de conversão ainda apresentam desafios no que diz respeito a escalonamento industrial, purificação dos gases e co-produtos de gaseificação e estabilização do bio-óleo proveniente da pirólise para uso como combustível no setor de transportes (Zakzeski et al., 2010).

Além dos processos descritos acima, a lignina pode ter aplicabilidade em sua forma original, como um composto polifenólico, pois a sua despolimerização demanda muita energia e gastos para indústria. Das aplicações da lignina em sua forma polimérica encontram-se a síntese de fibras de carbono, resinas, adesivos e de aditivos para polímeros (Holladay et al., 2007).

6. CONCLUSÃO

Os derivados de petróleo estão presentes no nosso dia-a-dia há várias décadas. No entanto, a biomassa tem potencial para substituir praticamente toda a complexidade desta matriz e estes novos produtos poderiam ter composição química idêntica ou apenas similar à dos produtos tradicionais. Esta substituição demandaria muito pouco dos recursos agroflorestais disponíveis, sem a necessidade de desmatamentos. O que nos falta é o desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitem o melhor aproveitamento integral destes recursos renováveis. Outro caminho importante seria reconsiderar o destino dado a subprodutos e rejeitos de indústrias como a de papel e celulose. O *crude tall oil*, por exemplo, possui várias estruturas de grande complexidade química em sua constituição, mas, devido à dificuldade de fracionamento destas substâncias, é comum o uso deste material como combustível para alimentar caldeiras. Resíduos de celulose poderiam aproveitados para síntese de polímeros, como poliésteres, acrilatos, polipropileno, etc. Os resíduos de lignina poderiam ser convertidos em

resinas, óleos, fenóis, gás de síntese, etc. Naturalmente, a substituição de produtos de origem fóssil por produtos oriundos de recursos renováveis não será possível sem o desenvolvimento de pesquisas complementares em laboratório e a demonstração destas em usinas piloto. Considerando a grande diversidade e quantidade de recursos agroflorestais disponíveis no Brasil, espera-se que, em algumas décadas, a matriz energética do país possa ter uma contribuição ainda maior de fontes renováveis e, também, que a síntese de insumos químicos seja cada vez menos dependente de recursos de origem fóssil.

7. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, R. S.; SILVEIRA, M. H. L.; PITARELO, A. P.; CORAZZA, M. L.; RAMOS, L. P.; Kinetics of enzyme-catalyzed hydrolysis of steam-exploded sugarcane bagasse. **Biore-source Technology**, v.147, p.416 - 423, 2013.
- ANDRAWES, F.; CHANG, T.; SCHARRER, R.; Analysis of volatiles in tall oil by gas chromatography, flame-photometric detection, flame-ionization detection and mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v.468, p.145-155, 1989.
- BACKLUND, I.; ARSHADI, M.; HUNT, A. J.; McELROY, R.; ATTARD, T. M.; BERGSTEN, U.; Extractive profiles of different lodgepole pine (*Pinus contorta*) fractions grown under a direct seeding-based silvicultural regime. **Industrial Crops and Products**, v.58, p.220 - 229, 2014.
- BALAT, M.; Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. **Energy Conversion and Management**, v.52, p.858 - 875, 2011.
- BELLIDO, C.; BOLADO, S.; COCA, M.; LUCAS, S.; GONZÁLEZ-BENITO, G.; GARCÍA-CUBERO, M. T.; Effect of inhibitors formed during wheat straw pretreatment on ethanol fermentation by *Pichia stipitis*. **Biore-source Technology**, v.102, p.10868 - 10874, 2011.
- BENSAH, E. C.; KEMANUSUOR, F.; MIEZAH, K.; KÁDÁR, Z. MENSAH, M.; African perspective on cellulosic ethanol production, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.49, p.1 - 11, 2015.
- BINOD, P.; SINDHU, R.; SINGHANIA, R. R.; VIKRAM, S.; DEVI, L.; NAGALAKSHMI, S.; KURIEN, N.; SUKUMARAN, R. K.; PANDEY, A.; Bioethanol production from rice straw: An overview. **Biore-source Technology**, v.101, p.4767 - 4774, 2010.

BON, E. P. S., GÍRIO, F.; PEREIRA, N. J.; **Enzimas na produção de etanol** (Cap. 10). In: BON, E.P.S., FERRARA, M.A. e CORVO, M.L. *Enzimas em Biotecnologia: Produção, Aplicação e Mercado*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Interciência, p.241 - 271, 2008.

BOZELL, J. J.; PETERSEN, G. R.; Technology development for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates—the US Department of Energy’s “Top 10” revisited. **Green Chemistry**, v.12, p.539 - 554, 2010.

BRUGNAGO, R. J.; SATYANARAYANA, K. G.; WYPYCH, F.; RAMOS, L. P.; The effect of steam explosion on the production of sugarcane bagasse/polyester composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v.42, p.364 - 370, 2011.

CARA, C.; RUIZ, E.; BALLESTEROS, M.; MANZANARES, P.; NEGRO, M. J.; CASTRO, E.; Production of fuel ethanol from steam-explosion pretreated olive tree pruning. **Fuel**, v.87, p.692 - 700, 2008.

CARDONA, C. A.; QUINTERO, J. A.; PAZ, I. C.; Production of bioethanol from sugarcane bagasse: Status and perspectives; **Bioresource Technology**, v. 101, p. 4754 - 4766, 2010.

CARRASCO, C.; BAUDEL, H. M.; SENDELIUS, J.; MODIG, T.; ROSLANDER, C.; GALBE, M.; HAHN-HÄGERDAL, B.; ZACCHI, G.; LIDÉN, G.; SO₂-catalyzed steam pretreatment and fermentation of enzymatically hydrolyzed sugarcane bagasse. **Enzyme and Microbial Technology**, v.46, p.64 - 73, 2010.

CARVALHO, D. M.; SEVASTYANOVA, O.; PENNA, L. S.; SILVA, B. P.; LINDSTRÖM, M. E.; COLEDETTE, J. L.; Organosolv pretreatment for enzymatic hydrolysis of poplars. 2. Catalyst effects and the combined severity parameter. **Industrial Crops and Products**, v.73, p.118 - 126, 2015.

CHUM, H. L.; JOHNSON, D. K.; BLACK, S. K.; Organosolv pretreatment for enzymatic hydrolysis of poplars. 2. Catalyst effects and the combined severity parameter, **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v.29, p.156 - 162, 1990.

CORDEIRO, C. S.; ARIZAGA, G. G. C.; RAMOS, L. P.; WYPYCH, F.; A new zinc hydroxide nitrate heterogeneous catalyst for the esterification of free fatty acids and the transesterification of vegetable oils. **Catalysis Communications**, v.9, p. 2140 - 2143, 2008.

CORDEIRO, C. S.; SILVA, F. R.; MARANGONI, R.; WYPYCH, F.; RAMOS, L. P.; LDHs Instability in esterification reactions and their conversion to catalytically active layered carboxylates. **Catalysis Letters**, v.142, p.763 - 770, 2012.

CORDEIRO, C. S.; SILVA, F. R.; WYPYCH, F.; RAMOS, L. P.; Catalisadores heterogêneos para a produção de monoésteres graxos (biodiesel). **Química Nova**, v.34, p.477 - 486, 2011.

CORDEIRO, C.S.; **Compostos lamelares como catalisadores heterogêneos em reações de (trans)esterificação (m)etílica**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, 2008.

- CORMA, A.; IBORRA, S.; VELTY, A.; Chemical routes for the transformation of biomass into chemicals. **Chemical reviews**, v.107, p.2411 - 2502, 2007.
- DORRIS, G. M.; DOUEK, M.; ALLEN, L. H.; Operating variables in the analysis of tall oil acids by capillary gas chromatography. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v.59, 494 - 500, 1982.
- EICK, G.H.; Tall oil and terpene derivatives. **Journal Of Chemical Education**. v.34, p.613, 1957.
- EMMEL, A.; MATHIAS, A. L.; WYPYCH, F.; RAMOS, L. P.; Fractionation of *Eucalyptus grandis* chips by dilute acid-catalysed steam explosion; **Bioresource Technology**, v.86, p.105 - 115, 2003.
- FENGEL, D.; WEGENER, G.; **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1989.
- FERREIRA, V. F.; ROCHA, D. R.; SILVA, F. C.; Potencialidades e oportunidades na química da sacarose e outros açúcares; **Química Nova**, v.32, n.3, 623 - 638, 2009.
- FORT, D. A.; REMSING, R. C.; SWATLOSKI, R. P.; MOYNA, P.; MOYNA, G.; ROGERS, R. D.; Can ionic liquids dissolve wood? Processing and analysis of lignocellulosic materials with 1-*n*-butyl-3-methylimidazolium chloride. **Green Chemistry**, v.9, p.63 - 69, 2007.
- GÁMEZ, S.; GONZÁLEZ-CABRIALES, J. J.; RAMÍREZ, J. A.; GARROTE, G.; VÁZQUEZ, M.; Study of the sugar cane bagasse hydrolysis by using phosphoric acid. **Journal of Food Engineering**, v.74, p.78 - 88, 2006.
- GEDDES, C. C.; PETERSON, J. J.; ROSLANDER, C.; ZACCHI, G.; MULTINNI, M. T.; SHANMUGAN, K. T.; INGRAM, L. O.; Optimization the saccharification of sugar cane bagasse using dilute phosphoric acid followed by fungal cellulases. **Bioresource Technology**, v.101, p.1851 - 1857, 2010.
- GITIFAR, V.; ESLAMLOUEYAN, R.; SARSHAR, M.; Experimental study and neural network modeling of sugarcane bagasse pretreatment with H₂SO₄ and O₃ for cellulosic material conversion to sugar. **Bioresource Technology**, v.148, p.47 - 52, 2013.
- GRÄSVIK, J.; WINESTRAND, S.; NORMARK, M.; JÖNSSON, L. J.; MIKKOLA, J. P.; Evaluation of four ionic liquids for pretreatment of lignocellulosic biomass. **BMC Biotechnology**, v.14, p.1 - 11, 2014.
- GUAN, W.; LI, S.; YAN, R.; TANG, S.; QUAN, C.; Comparison of essential oils of clove buds extracted with supercritical carbon dioxide and other three traditional extraction methods. **Food Chemistry**, v.101, p.1558 - 1564, 2007.
- HEITZ, M.; CAPEK-MÉNARD, E.; KOEBERLE, P. G.; GAGNÉ, J.; CHORNET, E.; OVE-REND, R. P.; TAYLOR, J. D.; YU, E.; Fractionation of *Populus tremuloides* at the pilot plant scale: Optimization of steam pretreatment conditions using the STAKE II technology. **Bioresource Technology**, v.35, p. 23 - 32, 1991.

HENDRIKS, A. T. W. M.; ZEEMAN, G.; Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v.100, p. 10 - 18, 2009.

HIDENO, A.; INOUE, H.; TSUKAHARA, K.; FUJIMOTO, S.; MINOWA, T.; INOUE, S.; ENDO, T.; SAWAYAMA, S.; Wet disk milling pretreatment without sulfuric acid for enzymatic hydrolysis of rice straw. **Bioresource Technology**, v.100, p.2706 - 2711, 2009.

HOLLADAY, J. E.; BOZELL, J. J.; WHITE, J. F.; JOHNSON, D.; Top value added chemicals from biomass: volume II—results of screening for potential candidates from biorefinery lignin. **Pacific Northwest National Laboratory**, v.II, p.1 - 79, 2007.

HOLMBOM, B.; Improved Gas Chromatographic Analysis of Fatty and Resin Acid Mixtures with Special Reference to Tall Oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v.54, p.289 - 293, 1977.

KIM, K. H.; HONG, J.; Supercritical CO₂ pretreatment of lignocellulose enhances enzymatic cellulose hydrolysis. **Bioresource Technology**, v.77, p.139 - 144, 2001.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S.; **Química da Madeira**, Fupef, 3ª edição, 2006.

KOBAYASHI, H.; FUKUOKA, A.; Synthesis and utilisation of sugar compounds derived from lignocellulosic biomass. **Green Chemistry**, v.15, p.1740 - 1763, 2013.

KURZIN, A. V.; EVDOKIMOV, A. N.; PAVLOVA, O. S.; ANTIPINA, V. B.; Synthesis and characterization of biodiesel fuel based of esters of tall oil fatty acids. **Russian Journal of Applied Chemistry**, v.80, p.842-845, 2007.

LAMOUREUX, G.; AGÜERO, C.; A comparison of several modern alkylating agents. **ARKIVOC**, p.251 - 264, 2009.

LAOPAIBOON, P.; THANI, A.; LEELAVATCHARAMAS, V.; LAOPAIBOON, L.; Acid hydrolysis of sugarcane bagasse for lactic acid production. **Bioresource Technology**, v.101, p.1036 - 1043, 2010.

LAURICHESSE, S.; AVÉROUS, L.; Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers. **Progress in Polymer Science**, v.39, p.1266 - 1290, 2014.

LIMA, C. S. S.; CONCEIÇÃO, M. M.; SILVA, F. L. H.; LIMA, E. E.; CONRADO, L. S.; LEÃO, D. A. S.; Characterization of acid hydrolysis of sisal. **Applied Energy**, v.102, p.254 - 259, 2013.

LIU, D. D. J.; CHEN, E. Y. X.; Integrated Catalytic Process for Biomass Conversion and Upgrading to C12 Furoin and Alkane Fuel. **ACS Catalysis**, v.4, p.1302 - 1310, 2014.

LOPES, A. M. C.; JOÃO, K. G.; MORAIS, A. R. C.; BOGEL-ŁUKASIK, E.; BOGEL-ŁUKASIK, R.; Ionic liquids as a tool for lignocellulosic biomass fractionation, **Sustainable Chemical Processes**, 1:3, 2013.

MAITY, S. K.; Opportunities, recent trends, and challenges of integrated biorefinery: Part II. **Renewable Sustainable Energy Reviews**, v.43, p.1446 - 1466, 2015.

MÁKI-ARVELA, P.; SALMINEN, E.; RIITTONEN, T.; VIRTANEN, P.; KUMAR, N.; MIKKOLA, J. P.; The Challenge of Efficient Synthesis of Biofuels from Lignocellulose for Future Renewable Transportation Fuels. **International Journal of Chemical Engineering**, v. 2012, p.1 - 10, 2012.

- MARTIN-SAMPEDRO, R.; REVILLA, E.; VILLAR, J. C.; EUGENIO, M. E.; Enhancement of enzymatic saccharification of *Eucalyptus globulus*: Steam explosion versus steam treatment. **Bioresource Technology**, v.167, p.186 - 191, 2014.
- McGUIRE, J. M.; POWIS, P. J.; Gas chromatographic analysis of tall oil fractionation products after methylation with v,v-dimethylformamide dimethylacetal. **Journal of Chromatographic Science**, v.36, p. 104 - 108, 1998.
- MOOD, S. H.; GOLFESHAN, A. H.; TABATABAEI, M.; JOUZANI, G. S.; NAJAFI, G. H.; GHOLAMI, M.; ARDJMAND, M.; Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.27, p.77 - 93, 2013.
- MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C.; Análise da madeira de *Pinus oocarpa* Parte I – Estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. Sociedade de Investigações Florestais, **Revista Árvore**, v.29, p.461 - 470, 2005.
- MORONE, A.; APTE, M.; PANDEY, R. A.; Levulinic acid production from renewable waste resources: Bottlenecks, potential remedies, advancements and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.51, p.548 - 565, 2015.
- NISHIYAMA, Y.; LANGAN, P.; CHANZY, H.; Crystal structure and hydrogen-bonding system in cellulose I β from synchrotron X-ray and neutron fiber diffraction. **Journal of the American Chemical Society**, v.124, p.9074 - 9082, 2002.
- NOGUEIRA, J. M. F.; Crude tall-oil: uma significativa fonte em ácidos gordos e resínicos. **Química**, v.57, p.13 - 24, 1995.
- OVEREND, R. P.; CHORNET, E.; GASCOIGNE, J. A.; Fractionation of lignocellulosics by steam-aqueous pretreatments, **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, v.321, p.523 - 536, 1987.
- PERVAIZ, M.; CORREA, C. A.; Biorefinaria: desenvolvimento de plataformas químicas através de tecnologias integradas de biomassa. **Polímeros**, v.19, p.E9 - E11, 2009.
- PINTO, P. C.; EVTUGUIN, D. V.; PASCOAL NETO, C.; Structure of hardwood glucuronoxylans: modifications and impact on pulp retention during wood *kraft* pulping. **Carbohydrate Polymers**, v.60, p.489 - 497, 2005.
- PISSARELO, M. L.; ZANUTTINI, M. S.; CORDEIRO, C. S.; QUERINI, C.A.; **Esterificación de ácidos grasos: estudios cinéticos con etanol. Catálisis homogénea y heterogénea**. XXI SICAT. Málaga-Benalmádena-Costa. España, 2008.
- PITARELO, A. P.; SILVA, T. A.; PERALTA-ZAMORA, P. G.; RAMOS, L. P.; Efeito do teor de umidade sobre o pré-tratamento a vapor e a hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v.35, p.1502 - 1509, 2012.

PYL, S. P.; DIJKMAN; T.; ANTONYKUTTY, J. M.; REYNIERS, M. F.; HARLIN, A.; GEEM, K. M. V.; MARIN, G. B.; Wood-derived olefins by steam cracking of hydrodeoxygenated tall oils. **Bioresource Technology**, v.126, p. 48 - 55, 2012.

RABELO, S. C.; **Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração**, Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 2010.

RAMOS, L. P.; SILVA, L.; BALLEM, A. C.; PITARELO, A. P.; CHIARELLO, L. M.; SILVEIRA, M. H. L.; Enzymatic hydrolysis of steam-exploded sugarcane bagasse using high total solids and low enzyme loadings. **Bioresource Technology**, v.175, p.195 - 202, 2015.

RAMOS, L. P.; The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. **Química Nova**, v.26, p. 863 - 871, 2003.

RANTWIJK, F.; SHELDON, R. A.; Biocatalysis in ionic liquids. **Chemical Reviews**, v.107, p.2757 - 2785, 2007.

RASMUSSEN, H.; SØRENSEN, H. R.; MEYER, A. S.; Formation of degradation compounds from lignocellulosic biomass in the biorefinery: sugar reaction mechanisms. **Carbohydrate Research**, v.385, p.45 - 57, 2014.

REMSING, R. C.; SWATLOSKI, R. P.; ROGERS, R. D.; MOYNA, G.; Mechanism of cellulose dissolution in the ionic liquid 1-*n*-butyl-3-methylimidazolium chloride: a ¹³C and ^{35/37}Cl NMR relaxation study on model systems. **Chemical Communication**, p.1271 - 1273, 2006.

SACIA, E. R.; BALAKRISHNAN, M.; BELL, A. T.; Biomass conversion to diesel via the etherification of furanyl alcohols catalyzed by Amberlyst-15. **Journal of Catalysis**, v.313, p.70 - 79, 2014.

SALES, H.J.S.; **Esterificação seletiva para a separação de esteróis, ácidos resínicos e ácidos graxos do resíduo oleoso de madeira (tall oil)**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

SÁNCHEZ, O. J.; CARDONA, C. A.; Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. **Bioresource Technology**, v.99, p.5270 - 5295, 2008.

SANTOS, C. P.; REIS, I. N.; MOREIRA, J. E. B.; BRASILEIRO, L. B.; Papel: Como se fabrica? **Química Nova na Escola**. n.14, 2001.

SANTOS, J. R. A.; SOUTO-MAIOR, A. M.; GOUVEIA, E. R.; MARTÍN, C.; Comparação entre processos em SHF e SSF de bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol por *Saccharomyces cerevisiae*. **Química Nova**, v.33, p.904 - 908, 2010.

SCHLITTLER, L. A. F. S.; ANTUNES, A. M. S.; PEREIRA JR., N.; Use of Patent Applications as a Tool for Technology Development Investigations on Ethanol Production from Lignocellulosic Biomass in Brazil. **Journal of Technology Management & Innovation**, v.7, p.80 - 90, 2012.

- SCHOLL, A. L.; MENEGOL, D.; PITARELO, A. P.; FONTANA, R. C.; FILHO, A. Z.; RAMOS, L. P.; DILLON, A. J. P.; CAMASSOLA, M.; Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) pretreated via steam explosion as a carbon source for cellulases and xylanases in submerged cultivation. **Industrial Crops and Products**, v.70, p 280 - 291, 2015.
- SCHÜTT, F.; WESTERENG, B.; HORN, S. J.; PULS, J.; SAAKE, B.; Steam refining as an alternative to steam explosion. **Bioresource Technology**, v.111, p.476 - 481, 2012.
- SIANKEVICH, S.; SAVOGLIDIS, G.; FEI, Z.; LAURENCZY, G.; ALEXANDER, D. T. L.; YAN, N.; DYSON, P. J.; A novel platinum nanocatalyst for the oxidation of 5-Hydroxymethylfurfural into 2,5-Furandicarboxylic acid under mild conditions. **Journal of Catalysis**, v.315, p.67 - 74, 2014.
- SILVA, A. S.; LEE, S-H.; ENDO, T.; BON, E. P. S.; Major improvement in the rate and yield of enzymatic saccharification of sugarcane bagasse via pretreatment with the ionic liquid 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate ([Emim] [Ac]). **Bioresource Technology**, v.102, p.10505 - 10509, 2011.
- SILVA, S. P. M.; LOPES, A. M. C.; ROSEIRO, L. B.; BOGEL-ŁUKASIK, R.; Novel pre-treatment and fractionation method for lignocellulosic biomass using ionic liquids. **RSC Advances**, v.3, 16040 - 16050, 2013.
- SILVEIRA, M. H. L.; VANELLI, B. A.; CORAZZA, M. L.; RAMOS, L. P.; Supercritical carbon dioxide combined with 1-butyl-3-methylimidazolium acetate and ethanol for the pretreatment and enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse. **Bioresource Technology**, v.192, p.389 - 396, 2015.
- SIMÕES, C. M. O.; SPITZER, V.; Óleos Voláteis. In: SIMÕES, C. M. O., et al. Farmacognosia da planta ao medicamento. 5. ed. Porto Alegre/Florianópolis: Ed. Universidade UFRGS/Ed. da UFSC, p.387 - 415, 2003.
- SINGH, J.; SUHAG, M.; DHAKA, A.; Augmented digestion of lignocellulose by steam explosion, acid and alkaline pretreatment methods: A review. **Carbohydrate Polymers**, v.117, p.624 - 631, 2015.
- SIXTA, H.; SCHILD, G.; A new generation kraft process. **Lenzinger Berichte**, v.87, p.26-37, 2009.
- SJÖSTRÖM, E.; **Wood Chemistry: Fundamentals and Applications**. 1. ed. Houston: Gulf Professional Publishing, 1993.
- SLUITER, A.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J.; TEMPLETON, D.; **Determination of Extractives in Biomass - NREL/TP-510-42619**. National Renewable Energy Laboratory, 2008.
- SMITH, R. M.; Supercritical fluids in separation science – the dreams, the reality and the future. **Journal of Chromatography A**, v.856, p.83 - 115, 1999.

SMOOK, G. A.; **Manual para técnicos de pulpa y papel**. Vancouver: A. Wilde, 397p. 1990.

STÅHLBERG, T.; SØRENSEN, M. G.; RIISAGER, A.; Direct conversion of glucose to 5-(hydroxymethyl)furfural in ionic liquids with lanthanide catalysts. **Green Chemistry**, v.12, p.321 - 325, 2010.

SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, A. L. F.; RODRIGUES, J. P.; ALVES, M. B.; Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. **Química Nova**, v.32, p.768 - 775, 2009.

TAYLOR, S. L.; KING, J. W.; Fatty and Resin Acid Analysis in Tail Oil Products via Supercritical Fluid Extraction-Supercritical Fluid Reaction Using Enzymatic Catalysis. **Journal of Chromatographic Science**, v.39, p. 269 - 272, 2001.

TORRE, M. J.; MORAL, A.; HERNÁNDEZ, M. D.; CABEZA, E.; TIJERO, A.; Organosolv lignin for biofuel. **Industrial Crops & Products**, v.45, p.58 - 63, 2013.

VANELLI, B. A.; **Pré-tratamento de lignocelulose utilizando líquido iônico, etanol e CO₂ supercrítico**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2014.

VYVER, S.; THOMAS, J.; GEBOERS, J.; KEYZER, S.; SMET, M.; DEHAEN, W.; JACOBS, P. A.; SELS, B. F.; Catalytic production of levulinic acid from cellulose and other biomass-derived carbohydrates with sulfonated hyperbranched poly(arylene oxindole)s. **Energy & Environmental Science**, v.4, p.3601 - 3610, 2011.

WANG, Y.; WU, L.; WANG, C.; YU, J.; YANG, Z.; Investigating the influence of extractives on the oil yield and alkane production obtained from three kinds of biomass via deoxy-liquefaction. **Bioresource technology**, v.102, n.14, p.7190 - 5, 2011.

WATANABE, I.; NAKAMURA, T.; SHIMA, J.; Strategy for simultaneous saccharification and fermentation using a respiratory-deficient mutant of *Candida glabrata* for bioethanol production. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v.110, p.176 - 179, 2010.

WERPY, T.; PETERSEN, G.; Top Value Added Chemicals from Biomass Volume I — Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas. **National Renewable Energy Laboratory**, v.1, p.1 - 76, 2004.

WILDSCHUT, J.; SMIT, A. T.; REITH, J. H.; HUIJGEN, W. J. J.; Ethanol-based organosolv fractionation of wheat straw for the production of lignin and enzymatically digestible cellulose. **Bioresource Technology**, v.135, p.58 - 66, 2013.

XU, J.; CHEN, Y.; CHENG, J. J.; SHARMA-SHIVAPPA, R.; BURNS, J.; Delignification of switchgrass cultivars for bioethanol production. **BioResources**, v.6, p.707 - 720, 2011.

YAN, S.; SALLEY, S. O.; SIMON, K. Y. N.; Simultaneous transesterification and esterification of unrefined or waste oils over ZnO-La₂O₃ catalysts. **Applied Catalysis A: General**, v.353, p.203 - 212, 2009.

YANG, D.; ZHONG, L-X.; YUAN, T-Q.; PENG, X-W.; SUN, R-C.; Studies on the structural characterization of lignin, hemicelluloses and cellulose fractionated by ionic liquid followed by alkaline extraction from bamboo. **Industrial Crops and Products**, v.43, p.141 - 149, 2013.

YANG, Y.; HU, C.; ABU-OMAR, M. M.; Conversion of carbohydrates and lignocellulosic biomass into 5-hydroxymethylfurfural using $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ catalyst in a biphasic solvent system. **Green Chemistry**, v.14, p.509 - 513, 2012.

ZAKZESKI, J.; BRUIJNINCX, P. C. A.; JONGERIUS, A. L.; WECKHUYSEN, B. M.; The catalytic valorization of lignin for the production of renewable chemicals. **Chemical Reviews**, v.110, p.3552 - 3599, 2010.

ZEIKUS, J. G.; JAIN, M. K.; ELANKOVAN, P.; Biotechnology of succinic acid production and markets for derived industrial products. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.51, p.545 - 552, 1999.

ZHAO, X.; ZHOU, Y.; LIU, D.; Kinetic model for glycan hydrolysis and formation of monosaccharides during dilute acid hydrolysis of sugarcane bagasse. **Bioresource Technology**, v.105, p.160 - 168, 2012.

ZHENG, Y.; ZHAO, J.; XU, F.; LI, Y.; Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production. **Progress in Energy and Combustion Science**, v.42, p.35 - 53, 2014.

VII

BIO-PRODUCTOS Y BIO-MATERIALES A PARTIR DE LA BIORREFINERÍA DE RESIDUOS AGRO Y FORESTOINDUSTRIALES

María Cristina Area¹, María E. Vallejos¹

1. Resumen

La **biomasa lignocelulósica** es una fuente importante de materias primas, dado su carácter renovable y poco contaminante, que se encuentra disponible en grandes cantidades y puede ser utilizada para producir biocombustibles, biomateriales y bioproductos, los cuales pueden tener estructuras moleculares similares o diferentes a las de los productos derivados del petróleo. En este contexto, los **residuos de la agro y foresto industria** constituyen una alternativa importante. Los procesos de fraccionamiento permiten separar los diferentes componentes de la biomasa (extractivos,

1. Programa de Celulosa y Papel (PROCYP). Instituto de Materiales de Misiones (IMAM) UNaM-CONICET. Posadas, Argentina.

celulosa, hemicelulosas, lignina, inorgánicos), y de esta forma realizar su aprovechamiento integral. En el Instituto de Materiales de Misiones (IMAM) de Argentina, investigadores del Programa de Celulosa y Papel (PROCYP) están trabajando con el objetivo general de optimizar los procesos de obtención de productos de alto valor agregado a partir de los diferentes componentes de la biomasa proveniente de residuos lignocelulósicos agro y forestoindustriales disponibles en la región NEA, bajo el concepto de biorrefinería. Entre estos productos, se busca obtener: ácidos levulínico y láctico a partir de las hemicelulosas de la corteza y el aserrín de pino; xilitol a partir de las hemicelulosas de bagazo de caña y aserrín de eucaliptus; vainillina y otros productos derivados de la lignina de corteza y aserrín de pino; compuestos fenólicos de bajo peso molecular y ácidos dicarboxílicos a partir del residuo fenólico generado de la oxidación de la lignina a vainillina; bioetanol y nanocelulosa a partir de la fracción celulósica de todas las materias primas en estudio. Asimismo, se busca evaluar los procesos estudiados en cuanto a su optimización y aplicación industrial. Este capítulo tiene como objetivo ofrecer una visión general de las tendencias en la producción de bioproductos y biomateriales menos tradicionales a partir de la biorrefinería de residuos agro y forestoindustriales.

2. Introducción

La industria química y la producción de energía convencional se han basado en el uso de materias primas derivadas del petróleo. Recién en las últimas décadas se ha generado un planteamiento crítico al desarrollo tecnológico y económico basado en los combustibles fósiles, debido principalmente al aumento de su precio y de sus derivados y al impacto ambiental de los procesos de conversión y de los productos derivados. Esto motivó un gradual interés en el desarrollo de tecnologías más sostenibles y ambientalmente favorables basadas en el uso de materias primas renovables, como es la biomasa, para producir combustibles y productos químicos. En los últimos años, se ha introducido el concepto de biorrefinería, análogo a las refineries de petróleo, con el fin de optimizar el procesamiento de la biomasa para obtener biocombustibles y bioproductos.

La biorrefinería puede definirse como el uso eficiente del potencial total de la materia prima lignocelulósica, logrando una producción sustentable, mediante el aprovechamiento de la totalidad del material, incluyendo los residuos, para generar productos tradicionales más una gama de productos químicos de alto valor agregado a partir del mismo recurso.

Las biorrefinerías basadas en el fraccionamiento de materias primas lignocelulósicas, ricas en celulosa, hemicelulosas y lignina, no compiten por los insumos destinados a la producción de alimentos y permite el aprovechamiento integral de la biomasa. Las fracciones obtenidas pueden ser usadas como materias primas para la producción de biomateriales, compuestos químicos, biocombustibles y energía.

Las biorrefinerías que permitan el aprovechamiento y la valorización de los residuos lignocelulósicos, podrían ubicarse próximas a las zonas rurales donde se desarrollan las actividades agroforestales y serían un estímulo para las economías rurales de las diversas regiones de nuestro país. El carácter estacional de algunas industrias requiere que estas biorrefinerías utilicen diversas fuentes de biomasa lignocelulósica a lo largo del año, las que podrían estar compuestas de especies mixtas. Dependiendo de la temporada, podrían ser residuos agroindustriales (bagazo de caña, cascarilla de arroz, paja de trigo, etc.) o forestales (aserrín, corteza, etc.). Los desafíos (y oportunidades) más importantes que enfrentan las empresas que adopten el concepto de biorrefinería son la diversificación de los productos y la potencialidad del mercado. Sin embargo, con el fin de lograr la aceptación del mercado, las alternativas de base biológica deben demostrar su capacidad para ajustarse a los requisitos funcionales y de los precios de la industria. Para favorecer su utilización es necesario desarrollar procesos de bajo costo y baja contaminación. La aplicación del concepto de biorrefinería para el aprovechamiento de la biomasa proveniente de las agro y forestoindustrias como materia prima para la producción de bioderivados ha surgido por la demanda de productos sostenibles y la necesidad de incrementar la competitividad de las industrias. La intención es continuar en la búsqueda de procesos más competitivos, que puedan ser utilizados por parte de los pequeños y medianos productores regionales.

3. Bioproductos y biomateriales

Los hidrocarburos provenientes del petróleo son moléculas hidrófobas, sin oxígeno ni grupos funcionales (hidroxilo, amino, aldehído, ácido, etc.) necesarios para producir compuestos intermediarios de uso industrial, los cuales deben ser introducidos mediante distintos procesos químicos. En cambio, los hidratos de carbono son hidrófilos y cuentan con varios grupos funcionales por molécula (principalmente grupos hidroxilo) por lo cual los procesos de conversión a productos químicos de alto valor son totalmente distintos a los que se usan en la industria petroquímica y muchas ellas se encuentran en desarrollo a escala piloto o de laboratorio.

En los últimos años, gran parte de los estudios sobre biorrefinería se centraron en la producción de **biocombustibles**. Sin embargo, el papel de los biocombustibles en un escenario futuro ha sido cuestionado debido a la competencia con los alimentos y a su balance energético desfavorable. Sin embargo, desde un punto de vista químico, se ha tomado conciencia de la importancia que tienen estas moléculas químicas, inclusive más que su contenido energético, en el desarrollo de nuevos **biomateriales y bioproductos**. Por esto, el interés científico se ha redirigido al desarrollo de rutas para la conversión de los materiales lignocelulósicos en una **plataforma de productos químicos** [1].

Estos productos tienen precios elevados y se comercializan generalmente en volúmenes más pequeños en comparación con los biocombustibles. En estas escalas, los subproductos generados por algunos sectores, como la agroindustria, la forestoindustria y la industria de alimentos, pueden servir como materia prima renovable para la producción de productos químicos y biomateriales. Estas materias primas son más favorables desde el punto de vista ambiental ya que evita la presión sobre la agricultura para producir cultivos específicos, con los consiguientes problemas asociados con el uso del suelo, los conflictos con los mercados de alimentos y la pérdida de la biodiversidad, que son los problemas más importantes asociados con la producción de biocombustibles [1].

Por otra parte, el incremento del uso de biomasa como biocombustible generó una competencia por la materia prima con la producción de fibras para la industria maderera y papelera. En este contexto, la búsqueda de fuentes de biomasa tales como los **residuos de la agro y forestoindustria** constituye una

alterativa importante. Estos residuos (aserrín, viruta, corteza, bagazo, pajas, cáscaras, etc.), están concentrados en un mismo lugar y son fácilmente accesibles. Bajo el concepto de biorrefinería, el aprovechamiento de estos residuos (generados por la propia actividad industrial), como materia prima para la obtención de productos con valor agregado, es una estrategia para mejorar la rentabilidad del sector y atenuar su impacto ambiental.

Actualmente, en la Argentina, el aprovechamiento de los **residuos de la industria de la madera** para la generación de energía es incipiente. Es común observar quemas de estos residuos a cielo abierto. Los precios de los residuos de aserradero en el país son heterogéneos y no forman parte de un mercado establecido y maduro. Los precios por tonelada de estos residuos que en general se manejan en las distintas regiones de Argentina son: costaneros ARS 40-43 (USD 4.0-4.3) aserrín ARS 40-47 (USD 4.0-4.7), chips ARS 70-105 (USD 7.0-10.5) y virutas ARS 48-50 (USD 4.8-5.0) [2]. Estos **residuos lignocelulósicos** se componen entre 65-80% de hidratos de carbono (celulosa y hemicelulosas) y 20-35% de compuestos fenólicos (lignina y extractivos).

Los procesos de fraccionamiento permiten separar los diferentes componentes de la biomasa, y de esta forma realizar su aprovechamiento integral. Por ejemplo, con la fracción de extractivos de la corteza y el aserrín de pino podrían producirse derivados de la oleorresina (insumos de la industria de pinturas, perfumería, etc.), y con los de eucaliptus y pino se pueden producir taninos.

El obtención de celulosa o lignina están basados en los procesos de fabricación de pulpa desarrollados por la industria papelera (procesos no degradativos) y que consisten en tratamientos de disolución usando agua o solventes orgánicos (pulpados organosolv) y aditivos (catalizadores y diversos reactivos). Estos procesos se basan en la diferencia de solubilidad del solvente elegido y en las condiciones de proceso para separar la celulosa, hemicelulosas y lignina como sustancias parcialmente despolimerizadas, las cuales pueden ser deconstruidas en una etapa posterior. En los últimos años, sin embargo, se han desarrollado nuevas metodologías para la deconstrucción simultánea de polisacáridos y la despolimerización parcial de la lignina (procesos degradativos). En estos procesos se usan catalizadores, reactivos, enzimas y microorganismo para lograr un mayor grado de la hidrólisis y degradación. En la figura 1 se describen los bloques de

construcción para bioproductos y biomateriales con mayor potencial a partir de residuo de las agro y forestoindustrias.

Figura 1. Bloques de construcción para bioproductos y biomateriales con mayor potencial a partir de residuos de la agro y forestoindustrias.

TIPO DE RESIDUO	COMPUESTOS EXTRAIBLES	PRODUCTOS SEGÚN EL PROCESO DE CONVERSIÓN
FORESTOINDUSTRIA: • Corteza • Costaneros • Aserrín • Virutas • Despuntes • Chips y astillas • Podas	Celulosa	NO DEGRADATIVOS: rayon, celofan, nanofibras/ nanocristales de celulosa, celulosa microcristalina, carboximetilcelulosa DEGRADATIVOS: etanol, ácido láctico, sorbitol, glutamato, monosódico, ácido glutámico, HMF, ácido levulínico, ácido láctico
	Hemicelulosas	NO DEGRADATIVOS: filmes, polímeros DEGRADATIVOS: etanol, xilitol, butanol, 2,3-butanodiol, furfural
	Lignina	NO DEGRADATIVOS: combustible, dispersantes, emulsificantes, secuestrantes, aditivos, adhesivos, co-reactivo de polímeros y resinas. DEGRADATIVOS: vainillina, dimetilsulfuro (DMS), dimetilsulfóxido (DMSO), gas, aceite y carbón.
AGROINDUSTRIA: • Bagazo • Cascarilla • Pajas • Podas (frutales, vid)	Extractivos	NO DEGRADATIVOS: Adhesivos DEGRADATIVOS: Epóxidos

Los azúcares hemicelulósicos que se extraen de la corteza y el aserrín de pino se componen de hexosas (glucosa, galactosa, manosa, etc.), en tanto que las hemicelulosas de aserrín de eucalyptus, bagazo y otros residuos agrícolas se componen de pentosas (xilosa y arabinosa). De las hexosas pueden producirse ácidos orgánicos (ácidos levulínico, láctico, succínico, entre otros) e hidroximetilfurfural, mientras que las pentosas se pueden convertir a xilitol, furfural, etc.

Las biorrefinerías podrían ser capaces de producir los mismos tipos de productos derivados del petróleo pero a partir de estructuras químicas derivadas de la biomasa. Se han identificado diversos productos derivados de los azúcares de la celulosa y hemicelulosas y de los compuestos fenólicos de la lignina, cuyas estructuras químicas tienen un enorme potencial para su conversión a otros productos de altos valor agregado, de acuerdo con su composición química, propiedades, complejidad técnica de producción y potencialidad del mercado [3-6]. Entre las principales estructuras químicas derivadas de los azúcares se encuentran: etanol, furfural, hidroximetil furfural, ácido láctico, ácido succínico, ácido levulínico, sorbitol y xilitol. Para la lignina, algunas de las estructuras químicas más importantes son: vainillina, siringaldehído [7, 8], diversos compuestos fenó-

licos de bajo peso molecular, ácidos dicarboxílicos (como el ácido malónico, el succínico, el mucónico, el maleico) y quinonas [9, 10].

Actualmente, las investigaciones están centradas en la optimización de las **tecnologías de conversión**, la optimización de los rendimientos, la reducción de costos tecnológicos, y el desarrollo de nuevas tecnologías (catalizadores y biorreactores). La ingeniería de catálisis vía metabólica o sintética permite la obtención de catalizadores muy específicos para la transformación de la biomasa en una variedad de productos químicos intermedios y finales. Esto conduce a una producción controlada, segura y eficiente de productos químicos y polímeros.

Algunos bioproductos derivados de las hemicelulosas

La aplicación del concepto de biorrefinería para el aprovechamiento de la biomasa ha traído consigo una serie de bloques de construcción (*building blocks*) de compuestos químicos alternativos a los actuales bloques de construcción utilizados por la industria química para la preparación de materiales y productos farmacéuticos.

Dichas moléculas no compiten inmediatamente con los productos petroquímicos y podrían utilizarse para productos nuevos e innovadores. El ácido láctico, ácido levulínico, 5-hidroxiacetilfurfural, γ -valerolactona, y los derivados de lignina representan un nuevo conjunto de bloques de construcción de compuestos químicos que se ofrecen como alternativa a los derivados del petróleo con ventajas intrínsecas como la sostenibilidad y la biocompatibilidad.

Los **ácidos levulínico y láctico** son compuestos químicos de gran potencial industrial. Ambos ácidos cuentan con un gran mercado que se encuentra en plena expansión debido a sus atractivas y valiosas propiedades multifuncionales. Actualmente, su producción industrial se basa en derivados del petróleo y en azúcares de 1ra generación. En vista de la creciente preocupación hacia la sostenibilidad, un reto por resolver es establecer rutas de obtención a partir de las hemicelulosas provenientes del fraccionamiento de las materias primas lignocelulósicas.

El **xilitol** es un edulcorante que se emplea en panificados, mermeladas, gelatinas, sobremesas, chicles, refrigerantes y helados. También puede ser utilizado

en productos farmacéuticos y de higiene oral. El uso más importante, es como sustitutivo del azúcar en los productos altamente azucarados, ya que ésta puede caramelizar durante el procesamiento. Esto se debe a la reacción química de Maillard, entre azúcares y proteínas que es acelerada a altas temperaturas y que produce el oscurecimiento del producto, esto no ocurre con el xilitol, ya que este azúcar no posee grupos aldehídicos ni cetónicos. También puede ser utilizado en la prevención o tratamiento de enfermedades tales como diabetes, obesidad, insuficiencia de enzima glicosil 6-fosfatodesidrogenasa, otitis, osteoporosis y fibrosis quística.

El xilitol se puede obtener a través de la reducción química de la xilosa o conversión biotecnológica de medios que contienen xilosa. Los procesos químicos y biotecnológicos parten de soluciones de xilosa obtenidas a través de la hidrólisis de los materiales lignocelulósicos ricos en xilanos (eucalyptus, bagazo, etc.).

1. Ácido levulínico

El ácido levulínico es uno de los productos químicos de mayor potencial para ser producido bajo el concepto de biorrefinería [1, 3, 5] al ser un compuesto químicamente versátil debido a que tiene las propiedades de una cetona y un ácido. El proceso más usado para la producción de ácido levulínico se basa en la degradación controlada de las hexosas (deshidratación). El rendimiento teórico de la conversión de las hexosas a ácido levulínico 60-65% debido a la co-producción de ácido fórmico. Sin embargo, el rendimiento suele ser más bajo debido a la formación de compuestos insolubles indeseables (huminas) [11].

El proceso Biofine es una tecnología desarrollada para la producción de ácido levulínico en gran escala directamente a partir de biomasa. Este proceso consiste en dos etapas de reacción usando dos reactores. Las partículas de biomasa (0,5-1,0 cm) se alimentan a un tanque de mezcla con ácido sulfúrico reciclado (2,5-3 %). Esta mezcla se transfiere posteriormente al primer reactor de flujo pistón donde se produce una hidrólisis ácida de los polisacáridos a HMF. El tiempo de residencia en este reactor es 10-20 segundos (210-220 °C y 25 bar). El diámetro del reactor es pequeño para permitir un tiempo de residencia corto. El segundo reactor es un reactor de mezcla y es donde se realiza la conversión del HMF a ácido levulínico y ácido fórmico (190-200 °C, 14 bar y 20 minutos). Los

productos volátiles (furfural y otros) se eliminan y la mezcla alquitranada que contiene el ácido levulínico se pasa a un separador de gravedad. La mezcla de compuestos insolubles de esta unidad se envía a una unidad de deshidratación, donde el agua y los compuestos volátiles se evaporan. El ácido levulínico crudo tiene una pureza de 75% pero puede purificarse hasta 98%. Se ha encontrado que la utilización de MTHF (Metiltetrahidrofurano) como solvente es eficiente para la extracción y recuperación de ácido levulínico y ácido fórmico [12].

El ácido levulínico puede ser utilizado para la elaboración de varios productos químicos de alto valor (figura 2): polímeros, resinas, sustancias saborizantes (γ -valerolactona), pesticidas (ácido D-amino levulínico, ácido difenólico) y aditivos para combustible (metiltetrahidrofurano) con numerosas aplicaciones industriales potenciales [13]. Su precio disminuyó de USD 8,8-13/kg en 2005 a USD 3,2/kg en 2014, esto fue atribuido principalmente al aumento de su producción. Las proyecciones económicas indican que su precio podría bajar hasta USD 0,08-0,22/kg [14]. Las principales empresas productoras a nivel mundial son Segetis, Maine Bioproducts y Le Calorie [15, 16]. El mercado es relativamente emergente con una expectativa de producción de 500.000 t/año.

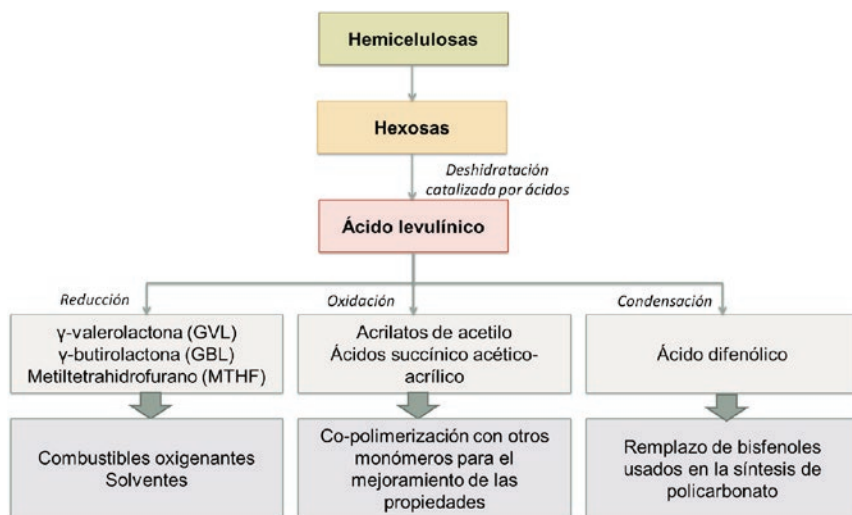


Figura 2. Producción y derivados del ácido levulínico (Adaptado de Werpy et al. [3]).

La γ -valerolactona (GVL) se obtiene a partir del ácido levulínico por hidrogenación catalítica con altos rendimientos (95-99 %). Este compuesto podría mezclarse con la gasolina (10%) debido a que tiene una la presión de vapor baja en comparación con otros compuestos oxigenados (etanol, MTBE y ETBE). Además, tiene una mayor densidad de energía en comparación con el etanol, estabilidad química bajo condiciones normales, no forma peróxido ni genera problemas de corrosión [14]. El GVL puede ser funcionalizado a monómeros polimerizables para la producción de polímeros. El GVL funcionalizado por reacciones de α -metilación permite obtener metileno- γ -valerolactona la cual puede usarse para producir **metacrilatos** mediante procesos de polimerización por radicales libres [1].

El ácido difenólico se usa en la producción de polímeros y se produce a partir de la reacción del ácido levulínico con dos moles de fenol. El ácido difenólico podría ser usado para reemplazar al bisfenol A en la producción de **policarbonatos**, pero el menor costo bisfenol A ha reducido su mercado. Sin embargo esto se está revirtiendo debido a que el proceso Biofine permite producir ácido levulínico a un costo mucho más bajo. El mercado de resina de policarbonato es casi USD 6.000 millones/año, con precios de alrededor de USD 7.500/t [3].

2. Ácido láctico

El **ácido láctico** y sus derivados son ampliamente utilizados en la industria alimenticia, química, farmacéutica, del plástico, textil, agricultura y alimentación animal entre otros, siendo el ácido poliláctico una de las aplicaciones con mayor potencial en medicina, electrónica y bioplásticos [17].

El ácido láctico ha sido producido industrialmente por la adición de cianuro a acetaldehído seguido por hidrólisis generando ácido láctico racémico. Sin embargo, este proceso se ha reemplazado por la fermentación de hexosas ya que de esta forma se produce ácido láctico enantioméricamente puro, que es requerido para la producción de ácido poli(láctico) (PLA). El PLA es un polímero biodegradable que tiene aplicaciones, principalmente, en envases de alimentos y bebidas. Los ésteres de lactato, como el lactato de etilo, se usan como disolventes no tóxicos.

En la actualidad, el ácido láctico es comercialmente producido mediante fermentación de azúcares provenientes de biomasa. Las bacterias usadas para la producción de ácido láctico utilizan la vía de la glicólisis para la derivatización de la glucosa y la isomerización a un derivado de fructosa, y la reacción retro-aldólica de esta fructosa genera dos fragmentos de C3. Estos fragmentos se convierten a piruvato y finalmente se reducen a lactato. Industrialmente, el ácido láctico formado produce una disminución del pH del caldo de fermentación por lo que se adiciona una base para que los microorganismos puedan resistir la acidez y continúen metabolizando el azúcar. Generalmente se utiliza hidróxido de calcio como base y por lo tanto el producto inicial es lactato de calcio. La purificación del lactato de calcio a ácido láctico crudo se realiza mediante la adición de ácido sulfúrico y la esterificación con metanol a lactato de metilo, seguido de destilación e hidrólisis. La extracción del ácido láctico con solventes es una alternativa al proceso convencional de precipitación con calcio para recuperación de ácidos a partir de soluciones acuosas [18].

Los principales inconvenientes del proceso basado en la fermentación de hexosas son: (i) la baja productividad espacio-tiempo debido al mayor volumen de equipamiento por trabajar a bajas concentraciones de azúcares y productos y los mayores tiempos conversión por fermentación; (ii) el costo de la separación debido a su baja productividad y (iii) la necesidad de varias etapas de purificación. La conversión química directa de los materiales lignocelulósicos a ácido levulínico podría simplificar el proceso y aumentar la sostenibilidad de la producción. Es necesario desarrollar nuevos procesos de producción de ácido láctico a mayor concentración respecto de los procesos de fermentación tradicionales lo cual permitiría una separación más eficiente y económica [19].

El ácido láctico puede también producirse por vía química mediante la degradación alcalina de azúcares, usando, por ejemplo, hidróxido de calcio a temperaturas moderadas. En este proceso, el ácido láctico (como lactato de calcio) se forma con una selectividad moderada (20-30%) [20, 21]. Este proceso no se usa comercialmente ya que el ácido láctico formado es racémico y no es útil para la síntesis de PLA. El tratamiento hidrotérmico de celulosa en medio alcalino es un proceso considerado promisorio para la producción de ácido láctico. La adición Ni o Zn mejora el rendimiento y selectividad en soluciones de NaOH

(2,5 M) permite convertir la celulosa en ácido láctico en sólo 5 minutos con un rendimiento de 42% a 300 °C [22]. El uso de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ permite alcanzar rendimientos similares (45%) a la misma temperatura [23].

El ácido láctico es el precursor de una serie de productos químicos de importancia industrial. Las conversiones catalíticas del ácido láctico comprenden la oxidación a **ácido pirúvico**, la reducción a **1,2-propanodiol**, o la esterificación para producir **ésteres de lactato** (figura 3).

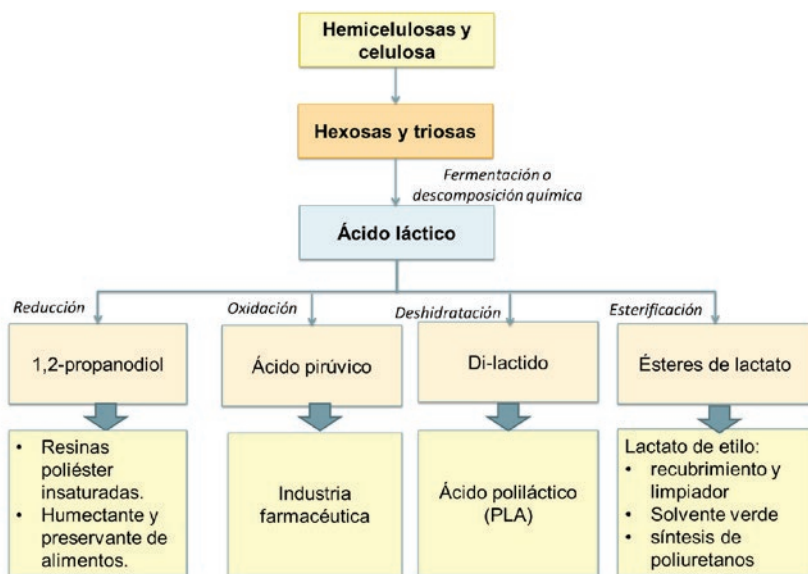


Figura 3. Producción y derivados del ácido láctico.

Xilitol

El **xilitol** se produce a partir de la reducción química o biológica de la xilosa derivada de hidrolizados hemicelulósicos provenientes de materiales lignocelulósicos ricos en xilanos. En los procesos de conversión química, la xilosa es hidrogenada a xilitol por catálisis con Ni, Ru y Rh a altas temperatura y presión (80-140°C y 50 atm) [24]. Estos procesos requieren que la xilosa esté altamente purificada para evitar la presencia de otros azúcares que genera subproductos no

deseados. La solución resultante se concentra y el xilitol se recupera por cristalización, obteniéndose un producto con una pureza de 99,7% y un rendimiento de 50-60% con respecto a la xilosa inicial. Los costos de producción de estos procesos son elevados debido a la complejidad de las etapas de purificación necesarias para eliminar los subproductos.

La producción biotecnológica de xilitol se encuentra en la etapa de implementación a nivel industrial y se basa en la hidrogenación de la xilosa por algunas especies de levaduras (*Candida*, *Saccharomyce*, *Pichia*, entre otras) que han sido desarrollados recientemente. Estos procesos tienen ventajas sobre los procesos químicos, ya que se llevan a cabo en condiciones menos severas de presión y temperatura, y generan cantidades menores de subproductos. Desde hace varias décadas se están realizando esfuerzos para desarrollar procesos biotecnológicos rentables y amigables con el medioambiente, mediante la evaluación del uso de materiales lignocelulósicos de bajo costo (residuos agroforestales). El precio del xilitol es relativamente elevado (USD 4.5-5.5/kg para farmacéuticas y USD 20/kg como edulcorante en supermercados) lo cual hace que su comercialización sea atractiva [24]. Los costos de producción de xilitol a escala industrial dependen de las tecnologías empleadas para la obtención y purificación de la xilosa, conversión de la xilosa a xilitol y recuperación/purificación del xilitol.

Los poliésteres formados por la repetición de unidades de polioles (xilitol, sorbitol, manitol, glusitol, etc.) pueden producir polímeros hiperramificados (HBPs). La arquitectura ramificada de estos genera propiedades mecánicas, reológicas y de compatibilidad que podrían ser usados en aplicaciones biomédicas [25]. El xilitol puede ser usado en la producción de resina de poliéster insaturada producidas por la copolimerización del xilitol con otros glicoles (figura 4). El xilitol es un monómero multifuncional no tóxico que puede formar distintos tipos de enlaces a través de reacciones de copolimerización con ácidos policarboxílicos. Por ejemplo: la policondensación del xilitol con ácido cítrico permite obtener polímeros biodegradables solubles en agua y la reacción de acrilación de este polímero permite obtener un hidrogel elastomérico; (ii) la policondensación de xilitol con ácido sebácico insoluble en agua produce elastómeros biodegradables más rígidos y resistentes [26].

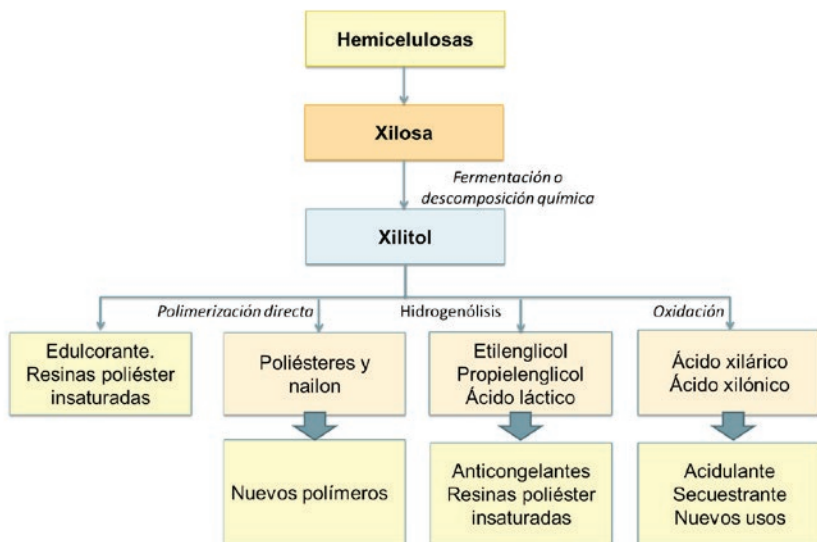


Figura 4. Producción y derivados del xilitol [27].

La oxidación del xilitol permite obtener ácido xilónico que se usa como acidulante, secuestrante, y en otras aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y agrícola [28]. La conversión de xilitol a etilenglicol y propilenglicol (polioles) se basa en reacciones de hidrogenólisis (rendimientos de 80%) [3] los cuales pueden ser aplicados como anticongelantes e intermediarios en la síntesis de resinas de poliuretano insaturadas [3, 27].

Algunos bioproductos derivados de la lignina

Las características y propiedades de la lignina están dadas principalmente por el tipo de residuo lignocelulósico y el tipo de proceso empleado para su extracción. La lignina de la corteza y del aserrín de pino está formada por unidades estructurales del tipo guayacil (G), mientras que la lignina de eucalyptus, bagazo, y otros residuos agrícolas está compuesta por tres unidades estructurales: guayacil (G), siringil (S) y p-hidroxifenil (H). Las ligninas extraídas de la corteza y del aserrín de pino mediante procesos alcalinos pueden ser aptas como combustible o co-reactivos de polímeros y resinas y para la producción de vainillina,

compuestos fenólicos de bajo peso molecular, ácidos dicarboxílicos, insumo de dispersantes, emulsificantes, secuestrantes, aditivos, adhesivos, entre otros.

Debido a su compleja estructura e impurezas (azúcares e inorgánicos) la lignina es difícil de procesar. Partes de las corrientes que contienen lignina extraída industrialmente se queman actualmente para generar energía, con un valor medio-bajo, pero con huella de carbono alta. El aprovechamiento de la lignina para su conversión en productos químicos aromáticos de alto valor agregado sería más rentable que su uso como combustible. El desarrollo de una “biorrefinería selectiva” con procesos de conversión de la lignina hacia bioproductos de alto valor, juega un papel fundamental en la mejora de la viabilidad económica y la sostenibilidad de la producción de biocombustibles a partir de biomasa renovable.

Los métodos de fabricación industrial de pulpa producen fragmentos de lignina con diferentes grados de polimerización y pueden promover una alteración en la distribución de sus grupos funcionales. Además, la presencia de ciertos aditivos empleados durante el proceso de fabricación de pulpa introduce grupos funcionales que inicialmente no están presentes en la estructura de la lignina nativa. Por ejemplo, la lignina aislada del proceso kraft incorpora azufre en forma de grupos tiol y la lignina al sulfito como lignosulfonatos. Todos los procesos de fabricación de pulpa producen lignina en forma de polímero de bajo peso molecular o incluso de oligómeros. Estos fragmentos de lignina pueden ser posteriormente despolimerizados mediante tratamientos reductivos u oxidativos.

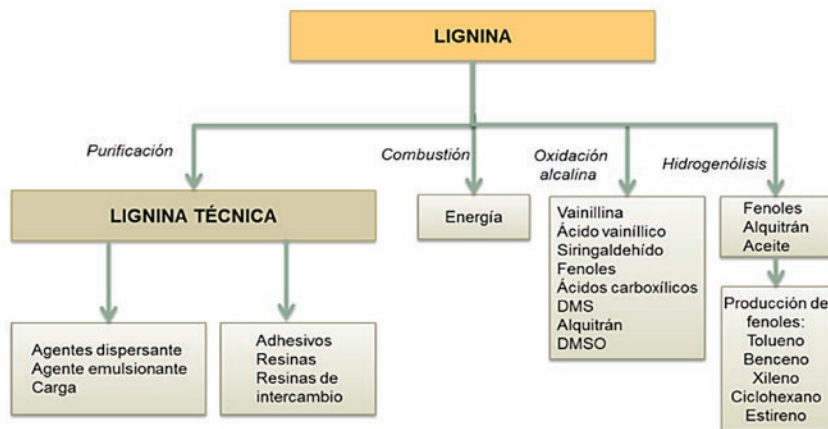


Figura 5. Derivados de lignina.

1. Vainillina

La **vainillina** ($C_8H_8O_3$) es el componente principal del sabor a vainilla. Tiene una amplia gama de aplicaciones en la industria alimentaria como saborizante y en perfumería como aditivo. El mercado de la vainillina está constituido principalmente por grandes compañías multinacionales (industrias de aromas y perfumes, industria farmacéutica, etc.). La obtención y purificación de la vainillina a partir de la oxidación de la lignina produce siringaldehído y varios aldehídos aromáticos que pueden servir como valiosos compuestos de partida para la industria farmacéutica. La vainillina, actualmente, es el único producto aromático comercial de la lignina.

La vainilla es una de las sustancias más importantes de toda la industria de saborizantes y aromatizantes. Su componente principal es la vainillina y sus propiedades se conocen originalmente desde la época de los aztecas [29]. El primer registro encontrado que prueba la factibilidad de obtener vainillina a partir de lignina data del año 1898, pero en 1933, se patentó un proceso para obtener vainillina a partir de petróleo, que a finales del siglo XX, había desplazado casi totalmente al anterior. Hoy en día tan solo una fábrica, de la empresa Borregaard, en Noruega, produce vainillina a partir de lignina [30]. Se estima que el mercado mundial de vainillina y de etil-vainillina (otro compuesto con características aromáticas similares) supera las 16.000 toneladas anuales (2006). Aproximadamente el 12,5 % deriva de la lignina, menos de 0,5 % proviene de fuentes naturales y las restantes se obtienen a partir del guayacol, un derivado del petróleo [31]. La vainillina tiene un valor comercial que ronda los USD 15/kg (2005). La que se obtiene a partir de lignina suele ser USD 1-2/kg más costosa que la proviene de guayacol y es muy apreciada por los fabricantes de chocolates y de perfumes (particularmente en los mercados de Europa y Japón) [32].

2. Productos aromáticos de bajo peso molecular y ácidos dicarboxílicos

La aplicación de métodos oxidativos a la lignina también permite obtener productos aromáticos de bajo peso molecular y ácidos dicarboxílicos (como los ácidos malónico, succínico y maleico), que constituyen un pilar importante para la industria de los polímeros, la industria farmacéutica y la industria alimenticia (figura 5). La producción y purificación de polifenoles y ácidos carboxílicos con

diversos fines merece ser objeto de estudio, ya que ofrece incentivos ambientales y económicos.

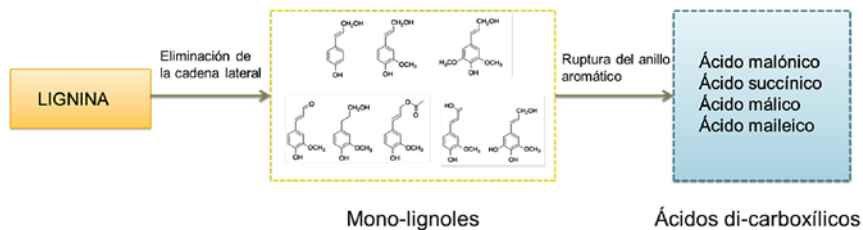


Figura 6: Producción de ácidos dicarboxílicos

Los métodos oxidativos han sido ampliamente empleados para el blanqueo de pulpa en la industria de fabricación de papel, debido a su selectividad y la viabilidad económica. Un nuevo enfoque pretende obtener productos aromáticos de bajo peso molecular (como quinonas) y ácidos dicarboxílicos por medio de procesos similares. Las quinonas son ampliamente utilizadas para la producción de peróxido de hidrógeno y como tinturas, y pueden también ser utilizadas como catalizador de la reacción oxidativa de la lignina. En la actualidad estos productos son fabricados mayormente por la industria petroquímica [33-37].

El ácido succínico o **butanodioico** (que se encuentra en el grupo de los ácidos carboxílicos saturados), es usualmente utilizado en la fabricación de fluidos hidráulicos, como aditivo para lubricantes, en productos químicos para la agricultura, en la industria farmacéutica y en tinturas [38]. El mercado potencial de productos basados en el ácido succínico se estimó en más de 270.000 t/año en 2004. La estimación del tamaño potencial del mercado sugiere claramente que el proceso de actual de producción de ácido succínico a partir de derivados de petróleo puede ser reemplazado por otros procesos que utilicen materias primas renovables [39].

El consumo mundial de **ácido málico** fue de 55.000 toneladas en 2006, principalmente como acidulante. El ácido málico es ampliamente utilizado en los jugos de frutas y vegetales, bebidas gaseosas, mermeladas, vinos y dulces, mejorando su dulzura o acidez. También se usa en la industria cosmética, principalmente para ajustar el pH en una concentración baja. Muchos productos cosméticos, tales como

las cremas autobronceantes, de limpieza y facial, contienen ácido málico como un controlador de pH [40]. Se puede producir ácido málico por vía fermentativa pero su rendimiento es bajo, por lo que desde el punto de vista económico se necesita encontrar un método de producción más eficiente [41].

El ácido **maleico** (o ácido cis-butenodioico) se convierte en anhídrido maleico por deshidratación, en ácido málico por hidratación, y en ácido succínico por hidrogenación. El anhídrido maleico es una importante materia prima en diversas industrias manufactureras, como en la producción de resinas poliéster de tipo ftálico, recubrimientos superficiales, aditivos para lubricantes, plastificantes, productos químicos agrícolas y de embalaje y transporte de alimentos. Esta aplicación impulsa su demanda mundial. Una estimación de 2012 planteó que la producción mundial crecería un 5,6% por año en forma continua hasta 2020 [42].

Bioproductos y biomateriales derivados de la celulosa

La celulosa puede ser hidrolizada enzimáticamente a glucosa. La glucosa puede ser empleada para obtener bioetanol o diferentes dioles (1,3-propanodiol, 1,2-propanodiol o 2,3-butanodiol).

El sólido residual del fraccionamiento de los residuos lignocelulósicos es una pulpa celulósica de alto valor (pulpa para disolver), con múltiples posibilidades de utilización, entre otras, como insumo para nanofibras/nanocristales de celulosa, celulosa microcristalina, carboximetilcelulosa y como refuerzo fibroso en materiales compuestos de almidones termoplásticos.

1. Bioetanol

El etanol se produce a partir de azúcares o almidón mediante la fermentación de soluciones con elevada concentración (y posterior destilación para elevar su concentración) o a través de la hidratación del etileno, siendo el proceso biológico el más usado (93% de la producción). Las materias primas más utilizadas para producir **bioetanol** son el grano de maíz (principalmente en Estados Unidos) y la caña de azúcar (el principal productor es Brasil). Otra opción es obtener bioetanol a partir de celulosa (“etanol celulósico”), proveniente de los residuos agro y forestoindustriales. Se espera que su utilización mejore el balance energético de la producción de bioetanol, de modo que se requiera menos energía fósil para su producción. En 2010

Argentina contaba con 11 refinерías de bioetanol de 1ra generaci3n, de las cuales 9 empleaban como materia prima el jugo de caña y 2 almid3n de maiz. En 2012 Argentina produjo 199.454 toneladas de bioetanol, lo cual es insuficiente para el corte que exige la ley 26.093 acerca del uso de etanol como combustible [43].

En lo referente a bioetanol celul3sico, en 2014 comenzaron a funcionar GranBio (Brasil), que emplea bagazo de caña de azúcar, con capacidad de 82 millones de litros de bioetanol y Abengoa (EEUU) que emplea residuos de cultivos agrícolas no comestibles como tallos y hojas, cuya capacidad es de 95 millones de litros al ańo. Tambi3n, fue inaugurada en 2014 la planta piloto BioEnercel, en Chile, que utiliza residuos forestales como materia prima. El precio del etanol es muy fluctuante, variando entre USD 0.31-1.32/L entre 2005 y 2015 (USD 0.39/L en febrero de 2015) [44].

2. Bioplásticos

La conversi3n de la glucosa a **etanol** es de gran inter3s, no solo como biocombustible sino para la producci3n de biopolímeros. El **etileno** (que puede obtenerse a partir de la deshidrataci3n del etanol) es un producto intermedio importante para producir PE, PVC, PET, PS y polioles para poliuretanos (PUR) (figura 6). El etileno puede producirse por deshidrataci3n del etanol a 400°C con una conversi3n y selectividad mayor al 99%. La producci3n de 1 tonelada de etileno requiere de 1,7 toneladas de etanol [45].

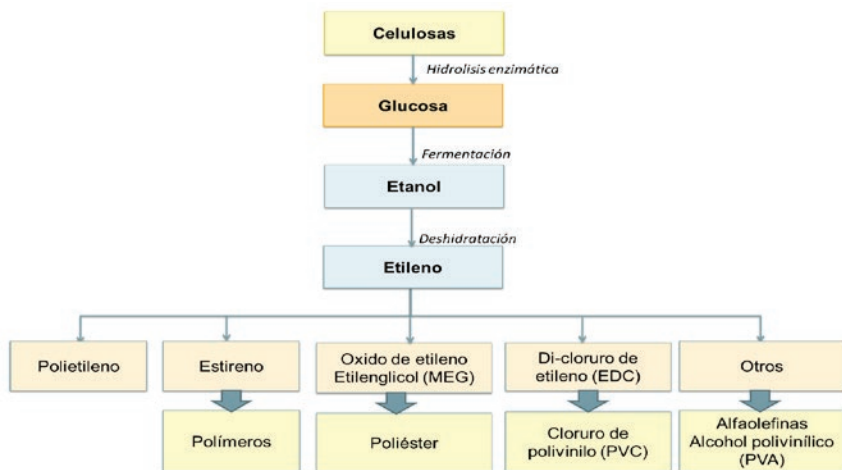


Figura 7: Producci3n de bioplásticos a partir de la celulosa.

El **biopolietileno** se produce a partir de etileno de base biológica. En la actualidad, el PE de base biológica se produce exclusivamente a partir de la deshidratación de etanol de primera generación de caña de azúcar a través de un proceso químico. El etanol de caña de azúcar se ha convertido en un ingrediente importante para sustituir al petróleo en la producción de este ‘bioplástico’, que tiene las mismas propiedades físicas y químicas del plástico derivado del petróleo. La posibilidad de producir bioetileno a partir de bioetanol de 2da generación es un desafío importante de la biorrefinería. La producción de polietileno es el mayor consumidor de etileno. En Brasil, las empresas Brasken y DOW han proyectado la construcción de plantas para producir polietileno y etileno, respectivamente, a partir de etanol de caña de azúcar [45].

El etilenglicol se polimeriza con ácido tereftálico para producir tereftalato de polietileno (PET) que se usa industrialmente en la producción de botellas de plástico (Coca-Cola y Danone están usando bio-PET) y fibras textiles (Toyota trabaja en el desarrollo de estos materiales para sus autopartes) [45].

3. Celulosa microfibrilar (MFC) y nanocelulosa (NC)

La obtención y aplicación de diferentes estructuras celulósicas a partir de residuos de la foresto y agroindustria en materiales de base biológica incluye la obtención y uso de derivados de fibras celulósicas en diferentes formas (fibras tal cual, celulosa microfibrilar (MFC), nanocelulosa (NC), entre otras), como refuerzo o modificador de propiedades de papeles y cartones, refuerzo de filmes poliméricos, materiales compuestos para moldeo por inyección, etc. La sustitución de los derivados de petróleo en la fabricación de materiales compuestos, como matriz y como refuerzo, representa una oportunidad para mejorar significativamente el desempeño ambiental de los sectores industriales involucrados.

La **celulosa microfibrilar (MFC) y la nanocelulosa (NC)** pueden utilizarse para modificar propiedades de barrera, de resistencia, etc., de diversos materiales. Los materiales compuestos están ganando mercado en diversos ámbitos (transporte, embalaje, etc.), gracias a la posibilidad de optimizar sus propiedades al combinar las propiedades de los componentes de la fibra y de la matriz.

La industria celulósica tiene un enorme potencial para adaptar sus procesos para la producción de nanomateriales a partir de la celulosa. El mercado

potencial anual de Estados Unidos se estima en 6,4 millones de toneladas métricas, y el mercado potencial mundial en 35 millones de toneladas métricas [46]. Estos nanomateriales de celulosa pueden aplicarse en una gama de productos forestales tradicionales (papel y embalaje), otros productos no tradicionales (cemento y el hormigón prefabricado) y productos nuevos (electrónicos flexibles). Los nanomateriales de celulosa pueden ser producidos por diversos métodos [47]. La aplicación de acción mecánica (homogenización, microfluidización, *cryocrushing*, micromolienda) sobre material pretratado produce celulosa nanofibriliada (NFC) o celulosa microfibrilada (MFC) [48] mientras que la hidrólisis ácida con ácido sulfúrico concentrado produce nanocristales de celulosa NCC, nanocelulosa cristalina o *nanowhiskers* de celulosa [49]. La **celulosa nano y microfibrilada** (NFC o MFC, respectivamente) ha tenido un fuerte crecimiento en los últimos años debido a sus propiedades únicas, su carácter renovable y gran disponibilidad. Las NFC y MFC son fibrilas o agregados de celulosa que tienen un diámetro entre 5 y 60 nm y varios micrómetros de longitud. [50-55]. Las NFC pueden producirse por homogenización de suspensiones de fibras a alta presión, lo que genera fuerzas de cizalla y una caída de presión que provoca la delaminación de las fibras y la liberación de las microfibrilas de las capas de la pared fibrosa. A medida que aumenta el número de pasos en el homogeneizador, el aspecto de la suspensión fibrosa va adoptando forma de gel (se requieren varios pasos para obtener el gel). Este proceso requiere del tratamiento de las fibras mediante métodos químicos o enzimáticos. La celulosa nanofibrilada tiene varias ventajas como elemento reforzante: diámetro pequeño, elevada relación de aspecto, biocompatibilidad, posibilidad de funcionalización, así como elevados resistencia y módulo [56]. Esto hace que sean un material atractivo para ser usado como refuerzo en papeles, cartones y polímeros para mejorar sus propiedades mecánicas [50, 57-61].

La producción de **etanol** a partir de la sacarificación la celulosa genera simultáneamente un residuo que está constituido principalmente de celulosa que ha resistido al tratamiento de sacarificación (10-40%) y que podría emplearse como materia prima de bajo costo para la producción de nanopartículas de celulosa, añadiendo valor al proceso de producción de etanol de segunda generación. La producción integrada de etanol y de estos nanomateriales tiene el potencial

para amortiguar el costo de las enzimas y de todo el proceso, haciéndolo económicamente factible.

Parámetros para el análisis procesos de conversión de azúcares y lignina a productos de alto valor agregado

La conversión de los azúcares y lignina a productos de alto valor agregado puede realizarse a través de procesos biotecnológicos y químicos. La selección de uno u otro tendrá en cuenta el rendimiento del proceso, la adecuación de las reacciones para la preparación del compuesto y su impacto ambiental, considerando los recursos usados y los residuos generados [62].

Para cualquier proceso de conversión es deseable que los reactivos presenten una alta reactividad para disminuir los tiempos de reacción y que los procesos sean selectivos para minimizar, en lo posible, la formación de mezclas de productos. Por consiguiente, para evaluar la eficiencia de un proceso se tiene en cuenta la reactividad de los componentes, la selectividad del procedimiento (S) y el rendimiento (ϵ). Si al final de un proceso el **rendimiento** es elevado, la conversión fue eficiente (ecuación 1) [62, 63].

$$\epsilon (\%) = \frac{\text{Cantidad de productos obtenidos}}{\text{Cantidad máxima obtenible}} * 100 \quad (1)$$

En el caso de una secuencia de procesos de conversión química o biológica, el rendimiento global de la reacción se obtiene multiplicando los rendimientos parciales de cada uno de los procesos (ecuación 2) [62].

$$\epsilon = \epsilon_1 * \epsilon_2 * \dots * \epsilon_i \quad (2)$$

El rendimiento y la **selectividad** se relacionan mediante la ecuación 3:

$$S = \frac{\text{Rendimiento del producto deseado}}{\text{Cantidad de sustrato transformado}} * 100 \quad (3)$$

La Tabla 1 muestra una clasificación de la eficiencia de un proceso de conversión en base a su rendimiento, aunque éste no es el único factor a la hora de

evaluar la eficiencia de un proceso.

Tabla 1. Eficiencia de los procesos de conversión según el rendimiento [62].

e (%)	Eficiencia
100	Cuantitativa
~ 90	Excelente
~ 80	Muy buena
~ 70	Buena
~ 50	Aceptable
~ 40 o inferior	Pobre

En los últimos años se han desarrollado parámetros cuantitativos basados en la sostenibilidad de los procesos, para analizar y evaluar su impacto ambiental. Entre los más usados se pueden mencionar la Economía Atómica (AE, Atom Economy) y el Factor ambiental (E, Environmental factor). El Análisis del Ciclo de Vida (LCA, Life Cycle Assesment) es una técnica para evaluar los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo de la vida de un producto desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, el uso y la eliminación [63, 64].

El **Factor E** se calcula dividiendo la masa total de residuos producida en la conversión a producto, por la masa total de producto obtenido (ecuación 4). Este factor tiene en cuenta la cantidad de residuos que se generan por unidad de masa producida. Cuanto menor sea el valor de E, menor será el impacto ambiental del proceso empleado [62, 63].

$$\text{Factor } E = \frac{\text{Masa total de residuo}}{\text{Masa de producto}} \quad (4)$$

Este factor fue estimado para varios sectores de la Industria Química como se indica en la tabla 2.

Tabla 2. Estimación del Factor E para diversos sectores industriales [62, 64, 65].

Sector industrial	Producción anual (tonelada)	Factor E
Refino del petróleo	10^6 - 10^8	< 0.1
Materias primas	10^4 - 10^6	1-5
Química fina	10^2 - 10^4	5-10
Industria farmacéutica	10 - 10^3	25-100

El rendimiento y la selectividad son dos parámetros usados industrialmente, pero no indican el desperdicio de reactivos químicos en los residuos. La **Economía Atómica** permite cuantificar el uso que se hace de cada uno de los átomos de un reactivo indicando cuáles de ellos se incorporan realmente al producto final (ecuación 5) [62]. Por ejemplo, para una reacción del tipo $A + B \rightarrow C$, la Economía Atómica es:

$$\text{Economía atómica} = \frac{\text{Masa molecular } C}{\sum \text{Masa molecular de los reactivos}} * 100$$

El cálculo de la Economía Atómica es algo más complejo en procesos globales donde intervienen varias secuencias de reacciones.

La investigación sobre biorrefinerías en el PROCYP-IMAM, Argentina

La biorrefinería de segunda generación requiere de tecnologías que aún se encuentran en la etapa de desarrollo o no alcanzaron madurez. En este sentido, la sustitución del petróleo por la biomasa lignocelulósica en la fabricación de materiales y productos químicos de uso industrial, constituye uno de los desafíos más importantes de las investigaciones que se vienen realizando desde las últimas décadas. El **grupo de investigación del PROCYP-IMAM dirigido por la Dra. Area** en Misiones, Argentina, viene trabajando en el tema de fraccionamiento de la biomasa y aprovechamiento de subproductos desde 1998, generando libros, capítulos, artículos y presentaciones en eventos relacionados con los diferentes componentes extraídos de las materias primas lignocelulósicas y sus usos. Buena parte de estudios se han realizado en colaboración con grupos nacionales e internacionales. Las líneas de trabajo actuales involucran los procesos de fraccionamiento de residuos agro y forestoindustriales [66-75],

la separación y utilización de lignina [76-80], la obtención de vainillina [81], la separación de hemicelulosas y obtención de xilitol [82, 83], la elaboración de bioetanol [69, 84, 85], de celulosa nanofibrilada, nanocelulosa [86, 87] y materiales compuestos celulósicos [88, 89].

Referencias

1. Esposito, D.; Antonietti, M. Redefining biorefinery: the search for unconventional building blocks for materials. *Chemical Society Reviews* 2015, 44, 5821-5835.
2. Uasuf, A.; Hilbert, J. El uso de la biomasa de Origen Forestal con destino a bioenergía en la Argentina 2012.
3. Werpy, T.; Peterson, G. Top Value Added Chemicals from Biomass, Volume I: Results of Screening for Potential Candidate from Sugars and Synthesis Gas for Energy, U. S. D. o. 2004.
4. Holladay, J. E.; White, J. F.; Bozell, J. J.; Johnson, D. Top Value-Added Chemicals from Biomass Volume II — Results of Screening for Potential Candidates from Biorefinery Lignin. for Energy, U. S. D. o. 2007.
5. Bridgwater, V.; Chinthapalli, R.; Smith, P. W. Identification and market analysis of most promising added-value products to be co-produced with the fuels 2010.
6. Swedish Pulp Mill Biorefineries. A vision of future possibilities 2008.
7. Maity, S. K. Opportunities, recent trends and challenges of integrated biorefinery: Part I. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015, 43, 1427-1445.
8. Maity, S. K. Opportunities, recent trends and challenges of integrated biorefinery: Part II. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015, 43, 1446-1466.
9. Zhang, X.; Tu, M.; Paice, M. Routes to Potential Bioproducts from Lignocellulosic Biomass Lignin and Hemicelluloses. *Bioenerg. Res.* 2011, 4, 246-257.
10. Ma, R.; Guo, M.; Zhang, X. Selective Conversion of Biorefinery Lignin into Dicarboxylic Acids. *ChemSusChem* 2014, 7, 412-415.
11. Ahlqvist, J. Formic and Levulinic Acid from Cellulose via Heterogeneous Catalysis. Umeå University, Faculty of Science and Technology, 2014.
12. Juang, R.-S.; Huang, R.-H.; Wu, R.-T. Separation of citric and lactic acids in aqueous solutions by solvent extraction and liquid membrane processes. *Journal of Membrane Science* 1997, 136, 89-99.

13. Gallezot, P. Catalytic Conversion of Biomass: Challenges and Issues. *ChemSusChem* 2008, 1, 734-737.
14. Kamm, B.; Gerhardt, M.; Dautzenberg, G.: Chapter 5 - Catalytic Processes of Lignocellulosic Feedstock Conversion for Production of Furfural, Levulinic Acid, and Formic Acid-Based Fuel Components. In *New and Future Developments in Catalysis*; Suib, S. L., Ed.; Elsevier: Amsterdam, 2013; pp 91-113.
15. Sauer, M.; Steiger, M.; Mattanovich, D.; Marx, D.: Biorefineries—Concepts for Sustainability. In *bioprocessing of renewable resources to commodity bioproducts*; Bisaria, V. S., Kondo, A., Eds.; John Wiley & Sons, Inc. , 2014; pp 3-28.
16. Raspolli Galletti, A. M.; Antonetti, C.; De Luise, V.; Licursi, D.; Nasso, N. Levulinic acid production from waste biomass. *BioResources* 2012, 7, 1824-1835.
17. Datta, R.; Tsai, S.-P.; Bonsignore, P.; Moon, S.-H.; Frank, J. R. Technological and economic potential of poly(lactic acid) and lactic acid derivatives. *FEMS Microbiology Reviews* 1995, 16, 221-231.
18. Parton, R. F. M. J.: Process for the isolation of levulinic acid and formic acid. Google Patents, 2014.
19. Mäki-Arvela, P.; Simakova, I. L.; Salmi, T.; Murzin, D. Y. Production of Lactic Acid/Lactates from Biomass and Their Catalytic Transformations to Commodities. *Chemical Reviews* 2014, 114, 1909-1971.
20. Yang, B. Y.; Montgomery, R. Alkaline degradation of fructofuranosides. *Carbohydrate Research* 1996, 280, 47-57.
21. Dusselier, M.; Van Wouwe, P.; Dewaele, A.; Makshina, E.; Sels, B. F. Lactic acid as a platform chemical in the biobased economy: the role of chemocatalysis. *Energy & Environmental Science* 2013, 6, 1415-1442.
22. Zhang, S.; Jin, F.; Hu, J.; Huo, Z. Improvement of lactic acid production from cellulose with the addition of Zn/Ni/C under alkaline hydrothermal conditions. *Bioresource Technology* 2011, 102, 1998-2003.
23. Sánchez, C.; Egués, I.; García, A.; Llano-Ponte, R.; Labidi, J. Lactic acid production by alkaline hydrothermal treatment of corn cobs. *Chemical Engineering Journal* 2012, 181-182, 655-660.
24. Silvério da Silva, S.; Chandel, A. K.: *D-Xylitol. Fermentative Production, Application and Commercialization*; Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012.
25. Jun, H.; Wei, G.; Ankur, K.; Richard, A. G.: "Sweet Polyesters": Lipase-Catalyzed Condensation-Polymerizations of Alditols. In *Polymer Biocatalysis and Biomaterials II*; ACS Symposium Series 999; American Chemical Society, 2008; Vol. 999; pp 275-284.

26. Bruggeman, J. P.; Bettinger, C. J.; Nijst, C. L. E.; Kohane, D. S.; Langer, R. Biodegradable Xylitol-Based Polymers. *Advanced Materials* 2008, 20, 1922-1927.
27. Chemicals from Biomass. In *Chemicals from Biomass; Green Chemistry and Chemical Engineering*; CRC Press, 2012; pp 67-110.
28. Liu, H.; Valdehuesa, K. N. G.; Nisola, G. M.; Ramos, K. R. M.; Chung, W.-J. High yield production of d-xylonic acid from d-xylose using engineered *Escherichia coli*. *Biore-source Technology* 2012, 115, 244-248.
29. Walton, N. J.; Mayer, M. J.; Narbad, A. Vanillin. *Phytochemistry* 2003, 63, 505-515.
30. Pacheco Araújo, J. D. Production of vanillin from lignin present in the Kraft black liquor of the pulp and paper industry. *Universidade de Porto* 2008.
31. McCarthy, J. L.; Islam, A.: Lignin Chemistry, Technology, and Utilization: A Brief History. In *Lignin: Historical, Biological, and Materials Perspectives*; Glasser, W. G., Northey, R. A., Schultz, T. P., Eds.; American Chemical Society, 1999.
32. Zakzeski, J.; Jongerijs, A. L.; Bruijninx, P. C. A.; Weckhuysen, B. M. Catalytic Lignin Valorization Process for the Production of Aromatic Chemicals and Hydrogen. *ChemSusChem* 2012, 5, 1602-1609.
33. Ma, R.; Xu, Y.; Zhang, X. Catalytic Oxidation of Biorefinery Lignin to Value-added Chemicals to Support Sustainable Biofuel Production. *ChemSusChem* 2015, 8, 24-51.
34. Soto, M. L.; Moure, A.; Domínguez, H.; Parajó, J. C. Recovery, concentration and purification of phenolic compounds by adsorption: A review. *Journal of Food Engineering* 2011, 105, 1-27.
35. Balasundram, N.; Sundram, K.; Samman, S. Phenolic compounds in plants and agricultural by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry* 2006, 99, 191-203.
36. Cornils, B.; Lappe, P.: Dicarboxylic Acids, Aliphatic. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2000.
37. Rodrigues Pinto, P.; Borges da Silva, E.; Rodrigues, A.: Lignin as Source of Fine Chemicals: Vanillin and Syringaldehyde. In *Biomass Conversion*; Baskar, C., Baskar, S., Dhillon, R. S., Eds.; Springer Berlin Heidelberg, 2012; pp 381-420.
38. Zeikus, J. G.; Jain, M. K.; Elankovan, P. Biotechnology of succinic acid production and markets for derived industrial products. *Appl Microbiol Biotechnol* 1999, 51, 545-552.
39. Song, H.; Lee, S. Y. Production of succinic acid by bacterial fermentation. *Enzyme and Microbial Technology* 2006, 39, 352-361.

40. Cammas, S.; Béar, M.-M.; Moine, L.; Escalup, R.; Ponchel, G.; Kataoka, K.; Guérin, P. Polymers of malic acid and 3-alkylmalic acid as synthetic PHAs in the design of bio-compatible hydrolyzable devices. *International Journal of Biological Macromolecules* 1999, 25, 273-282.
41. Lee, T.; Yi, J.; Han, M.; Lee, S.; Choi, S.; Lee, J. *Organic Acids: Succinic and Malic Acids*. *Comprehensive Biotechnology* 2011, 149-161.
42. Chaudhari, P.; Gupta, S. K. Multiobjective Optimization of a Fixed Bed Maleic Anhydride Reactor Using an Improved Biomimetic Adaptation of NSGA-II. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2012, 51, 3279-3294.
43. Di Paola, M. M. *La producción de biocombustibles en Argentina* 2013.
44. *Trading-Economics: Ethanol*. 2015.
45. Jong, E.; Higson, A.; Walsh, P.; Wellisch. *Bio-based Chemicals for Bioenergy*, I.
46. Shatkin, J. A.; Wegner, T. H.; Bilek, E. M.; Cowie, J. Market projections of cellulose nanomaterial-enabled products – Part 1: Applications. *Tappi Journal* 2014, 13, 9-16.
47. Cowie, J.; Bilek, E. M.; Wegner, T. H.; Shatkin, J. A. Market projections of cellulose nanomaterial-enabled products –Part 2: Volume estimates. *Tappi Journal* 2014, 13, 57-69.
48. González, I.; Boufi, S.; Pèlach, M. A.; Alcalà, M.; Vilaseca, F.; Mutjé, P. Nanofibrillated cellulose as paper additive in eucalyptus pulps. *BioResources* 2012, 7, 5167- 5180
49. Abdul Khalil, H. P. S.; Davoudpour, Y.; Islam, M. N.; Mustapha, A.; Sudesh, K.; Dunggani, R.; Jawaid, M. Production and modification of nanofibrillated cellulose using various mechanical processes: A review. *Carbohydrate Polymers* 2014, 99, 649-665.
50. Missoum, K.; Belgacem, M.; Bras, J. Nanofibrillated Cellulose Surface Modification: A Review. *Materials* 2013, 6, 1745.
51. Habibi, Y.; Lucia, L. A.; Rojas, O. J. Cellulose Nanocrystals: Chemistry, Self-Assembly, and Applications. *Chemical Reviews* 2010, 110, 3479-3500.
52. Nakagaito, A. N.; Yano, H. The effect of morphological changes from pulp fiber towards nano-scale fibrillated cellulose on the mechanical properties of high-strength plant fiber based composites. *Appl Phys A* 2004, 78, 547-552.
53. Saito, T.; Isogai, A. TEMPO-Mediated Oxidation of Native Cellulose. The Effect of Oxidation Conditions on Chemical and Crystal Structures of the Water-Insoluble Fractions. *Biomacromolecules* 2004, 5, 1983-1989.
54. Puangsin, B.; Yang, Q.; Saito, T.; Isogai, A. Comparative characterization of TEMPO-oxidized cellulose nanofibril films prepared from non-wood resources. *International Journal of Biological Macromolecules* 2013, 59, 208-213.

55. Isogai, A. Wood nanocelluloses: fundamentals and applications as new bio-based nanomaterials. *J Wood Sci* 2013, 59, 449-459.
56. Isogai, A.; Saito, T.; Fukuzumi, H. TEMPO-oxidized cellulose nanofibers. *Nanoscale* 2011, 3, 71-85.
57. González, I.; Alcalà, M.; Chinga-Carrasco, G.; Vilaseca, F.; Boufi, S.; Mutjé, P. From paper to nanopaper: evolution of mechanical and physical properties. *Cellulose* 2014, 21, 2599-2609.
58. Eriksen, O. The use of microfibrillated cellulose produced from kraft pulp as strength enhancer in TMP paper. *Nordic Pulp and Paper* 2008, 23, 299-304
59. Mörseburg, K.; Chinga-Carrasco, G. Assessing the combined benefits of clay and nanofibrillated cellulose in layered TMP-based sheets. *Cellulose* 2009, 16, 795-806.
60. González, I.; Alcalà, M.; Arbat, G.; Vilaseca, F.; Mutjé, P. Suitability of Rapeseed Chemithermomechanical Pulp as Raw Material in Papermaking. *BioResources* 2012, 8, 1697-1708
61. Spence, K.; Habibi, Y.; Dufresne, A.: Nanocellulose-Based Composites. In *Bio-Based Plastics. Materials and Applications*; Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011; pp 179-191
62. Calvo-Flores, F. G. Parámetros para el análisis de las reacciones en Química Sostenible. *Anales Química* 2009, 105, 42-49.
63. Constable, D. J. C.; Curzons, A. D.; Cunningham, V. L. Metrics to 'green' chemistry-which are the best? *Green Chemistry* 2002, 4, 521-527.
64. Dicks, A. P.; Hent, A.: *Green Chemistry Metrics*; Springer Cham Heidelberg, 2015. pp. 95.
65. Andraos, J.: Application of Green Metrics Analysis to Chemical Reactions and Synthesis Plans. In *Green Chemistry Metrics*; John Wiley & Sons, Ltd, 2009; pp 69-199.
66. Vallejos, M. E.; Felissia, F. E.; Kruyeniski, J.; Area, M. C. Kinetic study of the extraction of hemicellulosic carbohydrates from sugarcane bagasse by hot water treatment. *Industrial Crops and Products* 2015, 67, 1-6.
67. Vallejos, M. E.; Zambon, M. D.; Area, M. C.; Curvelo, A. A. d. S. Low liquid-solid ratio fractionation of sugarcane bagasse by hot water autohydrolysis and organosolv delignification. *Industrial Crops and Products* 2015, 65, 349-353.
68. Stoffel, R. B.; Felissia, F. E.; Silva Curvelo, A. A.; Gassa, L. M.; Area, M. C. Optimization of sequential alkaline-acid fractionation of pine sawdust for a biorefinery. *Industrial Crops and Products* 2014, 61, 160-168.

69. Dagnino, P. E.; Chamorro, E. R.; Felissia, F. E.; Area, M. C.: Obtención de bietanol a partir de la celulosa presente en cascarilla de arroz y aserrín de algarrobo. In XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente: Oberá, Argentina, 2014.
70. Dagnino, E. P.; Chamorro, E. R.; Romano, S. D.; Felissia, F. E.; Area, M. C.: Optimization of the Pretreatment of *Prosopis nigra* Sawdust for the Production of Fermentable Sugars, 2012; Vol. 8.
71. Vallejos, M. E.; Zambon, M. D.; Area, M. C.; da Silva Curvelo, A. A. Low liquid-solid ratio (LSR) hot water pretreatment of sugarcane bagasse. *Green Chemistry* 2012, 14, 1982-1989.
72. Area, C. M.; Felissia, F. E.; Vallejos, M. E. Ethanol-water fractionation of sugar cane bagasse catalyzed with acids. *Cellulose Chemistry and Technology* 2009, 43, 271-279
73. Imlauer, C.; Vergara, P.; Area, M. C.; Revilla, E.; Felissia, F.; Villar, J. C.: Fractionation of *Pinus radiata* wood by combination of steam explosion and solvent delignification. In 1st International Workshop on Biorefinery of Lignocellulosic Materials (IWBLCM). Córdoba, España 2015.
74. Stoffel, R. B.; Felissia, F.; Pereira Ramos, L., Gassa, L., Area, M.C.: Estrategia de fraccionamiento de aserrín de pino mediante explosión de vapor. In VIII Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, CIADICYP 2014; Bolivariana, E. U. P., Ed.: Medellín, Colombia, 2014.
75. Imlauer, C. M.; Kruyeniski, J.; Area, M. C.; Felissia, F. E.: Fraccionamiento a la soda-AQ de aserrín de pino para la biorrefinería forestal. In VIII Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, CIADICYP 2014; Bolivariana, E. U. P., Ed.: Medellín, Colombia, 2014.
76. Area, M. C.; Felissia, F. E.; A.L., S. F.; D., V. A.; J.L., V. Grafting of NSSC lignosulfonates for cationic flocculating agents production. *Cellulose Chemistry and Technology* 2002, 36, 105-121.
77. Area, M. C.; Felissia, F. E.; Martos, M. S.; D.I., B.; A.D., V.; Valade, J. L. Ultrafiltration of NSSC Spent Liquors, and its Utilization as Papermaking Additives. *Tappi Journal* 2001, 84, 1-15.
78. Area, M. C.; Valade, J. L. Révision: synthèse de copolymères greffés de lignine. *Cellulose Chemistry and Technology* 1998, 32, 225-240.
79. Vallejos, M. E.; Felissia, F. E.; Curvelo, A. A. S.; Zambon, M. D.; Ramos, L.; Area, M. C. Chemical and physico-chemical characterization of lignins obtained from the ethanol-water fractionation of bagasse. *BioResources*. *BioResources* 2011, 6, 1158-1171.

80. Felissia, F. E.; Vallejos, M. E.; Area, M. C. Lignin recovery from spent liquors of sugar cane bagasse ethanol- water fractionation. *Cellulose Chemistry and Technology* 2010, 44, 311-318.
81. Dos Santos, R. J.; Vallejos, M. E.; Area, M. C.; Felissia, F. E.: Vainillina a partir de licor negro Kraft industrial de pino en un reactor con recirculación. In VIII Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, CIADICYP: Medellín, Colombia, 2014.
82. Vallejos, M. E.; Chade, M.; Medvedeff, M. G.; Area, M. C.; Felissia, F. E.: Producción biotecnológica de xilitol utilizando *Candidaguilliermondii* y *Candidatropicalis*. In Jornadas Científico Tecnológicas UNaM: Posadas, Argentina, 2013.
83. Vallejos, M. E.; Bengoechea, D. I.; Felissia, F. E.; Area, M. C.: Detoxificación del licor residual del tratamiento con agua caliente del bagazo de caña de azúcar. . In VIII Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, CIADICYP 2014; Bolivariana, E. U. P., Ed.: Medellín, Colombia, 2014.
84. Kruyeniski, J.; Felissia, F. E.; Stoffel, R. B.; Imlauer, C. M.; Area, M. C.: Influencia del pretratamiento sobre la hidrólisis enzimática de aserrín de pino. In VIII Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, CIADICYP 2014; Bolivariana, E. U. P., Ed., 2014.
85. Vallejos, M. E.; Zambon, M. D.; Area, M. C.; Curvelo, A. A. S.: Hidrólisis enzimática de bagazo de caña de azúcar pretratado usando alto contenido de sólido en la autohidrólisis y deslignificación organosolv. In VIII Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, CIADICYP 2014; Bolivariana, E. U. P., Ed.: Medellín, Colombia, 2014.
86. Vallejos, M. E.; Felissia, F.; Area, M. C.; Martínez, B.; Pereira, M.; Mutjé, P.: Efecto de las NFC de aserrín de eucalipto sobre las propiedades mecánicas del papel fabricado a partir de una pasta cruda de eucalipto sin refinar. In Simposio Internacional sobre Materiales Lignocelulósicos, 13er Congreso SAM-CONAMET, 2013.
87. Ehman, N. V.; Tarrés, Q.; Vallejos, M. E.; Felissia, F. E.; Area, M. C.; Mutjé, P.: From pine sawdust to cellulose nanofibers. In 1st International Workshop on Biorefinery of Lignocellulosic Materials (IWBLCM). Córdoba, España, 2015.
88. Vallejos, M. E.; Carvalho, A. J. F.; Area, M. C.; Curvelo, A. A.: Efectos del tipo de refuerzo lignocelulósico sobre las propiedades mecánicas de materiales compuestos de almidón termoplástico. In Simposio Internacional sobre Materiales Lignocelulósicos, 13er Congreso SAM-CONAMET, 2013.
89. Vallejos, M. E.; Curvelo, A. A. S.; Teixeira, E. M.; Mendes, F. M.; Carvalho, A. J. F.; Felissia, F. E.; Area, M. C. Composite materials of thermoplastic starch and fibers from the ethanol-water fractionation of bagasse. *Industrial Crops and Products* 2011, 33, 739-746.

VIII

NANO Y BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR DEL RECICLADO DEL PAPEL: AVANZANDO HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR

Marc Delgado-Aguilar¹, Quim Tarrés¹, Israel González¹, M. Àngels Pèlach¹, Pere Fullana²², Pere Mutjé¹

1. Introducción

En los últimos años, y debido a la preocupación global por el medio ambiente, la sociedad está adoptando una serie de medidas para contribuir a la conservación de los ecosistemas y, por ende, de los recursos naturales que nos facilita el planeta. En este sentido, la industria papelera es consciente de esta situación desde hace bastantes años y es por ello que se adoptaron una serie de medidas de ahorro de recursos, tal y como se detallará en el presente capítulo.

El reciclaje del papel está experimentando, desde hace años, incrementos espectaculares. Tal es la magnitud de este aumento, que según datos de 2013, en promedio, el 55% de las suspensiones papeleras a nivel mundial son de fibras secundarias o recicladas [1]. En algunos grados, como el cartón o el papel de periódico, el porcentaje puede ser cercano al 100%. No obstante, después de su uso, se puede incinerar, reciclar o simplemente depositar en vertederos. El reciclaje

1. Grupo LEPAMAP. Universitat de Girona. C/ MariaAurèliaCapmany, 61. Girona – 17071 (España)

2. Càtedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climàtico. Universitat Pompeu Fabra. Pas-seig Pujades, 1. Barcelona – 08003 (España)

es la opción vista como más sostenible desde un punto de vista medioambiental, pues permite utilizar de nuevo las fibras residuales para la producción de papel y, asimismo, disminuye el consumo de recursos vírgenes [2]. Por lo que respecta a la incineración, la generación de energía para otros usos es evidente, pero lleva ligada intrínsecamente la emisión de gases a la atmosfera perjudiciales para el medio ambiente y la destrucción definitiva del recurso. En este sentido, la industria papelera, consciente de esta situación desde hace varios años, ha optado claramente por el reciclado.

1.1 El reciclado de las fibras y sus consecuencias

Disminuir la adición de recursos vírgenes a menudo es un reto, si se requieren determinadas propiedades físico-mecánicas para algunos productos de papel [3]. Conseguir esta resistencia es incluso un reto más complejo si se tiene en cuenta que el sector papelero cada día utiliza más fibras recicladas, fibras de alto rendimiento y cargas minerales [4].

Los procesos de reciclado conllevan, generalmente, una pérdida de las propiedades físico-mecánicas, principalmente debido a la hornificación de las fibras [5, 6]. Este proceso hace que las fibras devengan menos conformables y, asimismo, los enlaces inter-fibra pueden devenir más débiles y presenten un número menor, afectando a la resistencia de la totalidad del papel formado a partir de fibras secundarias. De hecho, las propiedades físico-mecánicas de la suspensión obtenida a partir de papel reciclado siempre son inferiores a las del papel original.

No existe un consenso sobre la definición exacta del fenómeno de hornificación [7]. La mayoría de autores considera que este fenómeno incluye la reducción en la capacidad de retención de agua de las fibras y un incremento de la rigidez, siendo así menos conformables después del proceso de secado [5, 8-10]. Por otra parte, algunos autores consideran que el fenómeno de hornificación es aquel que tiene lugar cuando las fibras celulósicas se someten a otro tipo de esfuerzos, incluyendo la eliminación de agua de las mismas sin necesidad de un secado total [11, 12].

Existen varios factores que pueden afectar a la hornificación de las fibras. Durante la eliminación de lignina y parte de las hemicelulosas, se pueden ge-

nerar una gran cantidad de poros nanoestructurales que serán susceptibles de cerrarse en el proceso de resecado [13]. Otros factores que afectan a la hornificación son el pH al que se secaron las fibras [14] o el tipo de fibras utilizadas [15], así como los tratamientos aplicados durante los procesos de obtención y mejora de propiedades [16]. De hecho, la hornificación se puede considerar como el efecto contrario del refino mecánico, es decir, un proceso que limita la formación de enlaces con las fibras adyacentes [8].

Otro factor que influye directamente sobre la calidad de las fibras secundarias es el asociado a los procesos de destintado. En principio, se considera que un proceso de destintado eficiente es capaz de reducir los niveles de tinta, adhesivos e impurezas que puedan presentar las fibras. Pero por otra parte, los reactivos químicos utilizados en dichos procesos, tales como ácidos, surfactantes o dispersantes, pueden quedar en la superficie de las fibras. Estos reactivos químicos presentes en las suspensiones papeleras destintadas pueden afectar negativamente a las propiedades finales del papel, aunque no a la fibra en sí [7].

Asimismo, si el papel se fabricara siempre de acuerdo con las buenas prácticas de producción existentes hoy día, sería bastante duradero y fácilmente reciclable [17]. Esta durabilidad y reciclabilidad supondría una reducción del consumo de recursos vírgenes y, a su vez, un ahorro económico para los productores de papel.

2. Estrategias para la mejora de las suspensiones de fibras secundarias

La metodología clásica para la mejora de las propiedades físico-mecánicas del papel es el refino mecánico de las fibras. El refino mecánico consiste en incrementar la superficie específica de las fibras con el objetivo de dotarlas de mayor capacidad de enlace y, así, compensar las pérdidas de resistencia a tracción que se derivan del fenómeno de hornificación. Las fibras refinadas tienen una mayor capacidad de absorción de agua, hecho que afecta directamente a la velocidad de drenaje de las suspensiones fibrosas. Dichos procesos, no solo son perjudiciales para las fibras debido al incremento de la superficie específica, fibrilación externa e interna (*swelling*), y la generación de finos, sino que requieren consumos

significativos de energía y disminuyen el tiempo de residencia de las fibras en la tecnosfera [18]. En contraste con el tratamiento de refinado de suspensiones de fibra virgen, las suspensiones de fibras secundarias no alcanzan incrementos del mismo orden para una aplicación de energía constante.

En vistas de la fuerte relación entre los procesos de refinado de las pastas y las propiedades físico-mecánicas resultantes del papel, se han dedicado muchos esfuerzos en la mejora de dicha tecnología [19-24]. Alguna de las opciones de mejora propuestas requieren la modificación de equipamiento existente, lo que se traduce, normalmente, en inversiones económicas importantes.

Muy recientemente, un prestigioso autor norteamericano ha ratificado las reflexiones expuestas anteriormente [3]:

Paper production requires large amounts of cellulosic fiber, whereas the world's forested lands and croplands have a finite capacity to supply such resources [...]. The industry can be expected to view recycling as a central part of its activities. Basis weights of various paper-based products can be expected to decrease over the coming decades, and more of the fiber content will be replaced with fillers such as calcium carbonate. Such trends will place intense demands upon chemical-based strategies to enhance bonding [...] reducing the amount of new forest resources.

M. A. Hubbe, 2014

Como se puede constatar, Hubbe apunta que el reciclaje será la actividad central de la industria papelera. Además, en el fragmento citado se constata que la reducción de gramajes y la adición de cargas en sustitución de fibras será una de las estrategias para disminuir el consumo de recursos fibrosos. Para ello, la capacidad de enlace de las fibras debe mejorarse para dotar a los papeles de mayor resistencia y, así, alcanzar los requerimientos físico-mecánicos que establece el mercado con menor material o bien añadiendo productos cuyo coste sea inferior. El autor norteamericano indica que la mejora de la capacidad de enlace de las fibras se deberá llevar a cabo mediante estrategias químicas. Cabe citar, también, que estos procesos podrían llevarse a cabo mediante procesos bioquímicos o biotecnológicos.

En la Figura 1 se muestra un panorama general de las distintas vías (clásicas e innovadoras) para la mejora de las propiedades físico-mecánicas de los papeles fabricados con fibras secundarias.

Como se puede constatar, existen al menos 5 posibles vías para mejorar la capacidad de enlace de las fibras, entre las cuales está el cambio de la composición fibrosa (adición de otros tipos de fibra), refinado mecánico de las fibras y adición de agentes de resistencia en seco (prácticas convencionalmente utilizadas por la industria papelera) e innovaciones que incluyen la adición de nanofibras de celulosa y el refinado enzimático. Debe entenderse que las distintas vías no son excluyentes entre ellas.

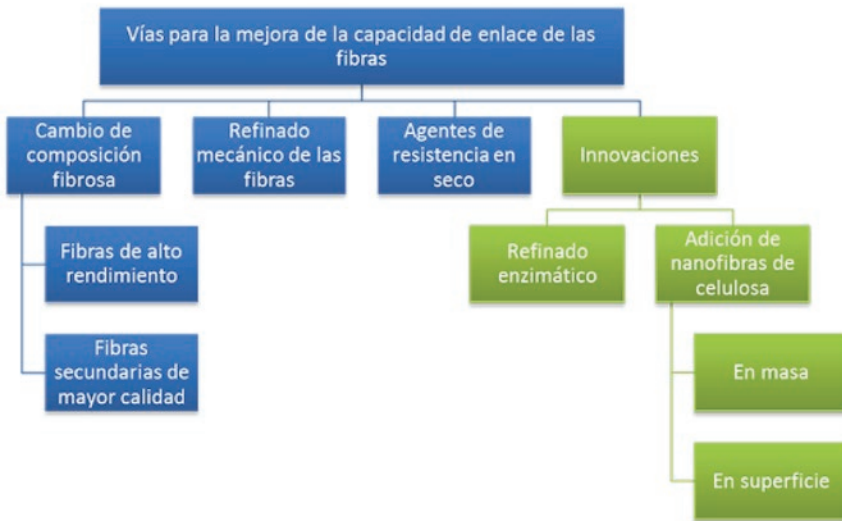


Figura 1. Vías para la mejora de la capacidad de enlace de las fibras

2.1 El refinado mecánico y los agentes de resistencia en seco

Las suspensiones de fibras secundarias, generalmente, ya han sido refinadas, sea originalmente o bien en sucesivos ciclos de reciclado. Desde un punto de vista morfológico, a parte del fenómeno de la hornificación, presentan deterioros físicos en su superficie y longitudes de fibra menores. La aplicación de un tratamiento de refinado intensivo incrementa el deterioro y produce el despren-

dimiento de las microfibrillas superficiales que se originaron en anteriores tratamientos de refinado. Ello conlleva que su capacidad de generar incrementos en las propiedades físico-mecánicas del papel se vea menguada, así como su capacidad de drenaje durante el proceso de formación de la hoja. Todo indica que lo recomendable es, como máximo, someter a las fibras secundarias a tratamientos muy ligeros de refinado y tratar de incrementar las propiedades físico-mecánicas que generan en el papel mediante la adición de productos químicos que actúen como agentes de resistencia en seco.

Tradicionalmente, la industria papelera ha utilizado, en general y en particular la del reciclado, agentes de resistencia en seco en masa para incrementar las propiedades físico-mecánicas del papel. El ejemplo típico de estos agentes de resistencia en seco es el almidón degradado enzimáticamente para reducir la viscosidad inicial de las suspensiones. El almidón nativo presenta un carácter marcadamente aniónico y, en consecuencia, su retención en el proceso de formación de la hoja es pobre, pasando a “contaminar” los circuitos de preparación de pastas y de cabeza de máquina. Ello origina deposiciones en los circuitos que cuando alcanzan las dimensiones suficientes se desprenden y perjudican gravemente la maquinabilidad. Su uso ha descendido dramáticamente, habiéndose optado por su aplicación en superficie mediante *size-press*. No obstante, los incrementos que se producen en las propiedades físico-mecánicas del papel son moderados, del orden del 10%. Una alternativa al almidón degradado enzimáticamente, es la utilización de almidones modificados (catiónicos) para su adición en masa. Debido al carácter que presenta, es fácilmente retenido por la suspensión fibrosa. Por otra parte, el coste del almidón catiónico es muy superior al degradado enzimáticamente, haciendo inviable en términos económicos su aplicación. Más recientemente, han aparecido otros productos sintéticos capaces de formar puentes de hidrógeno con las fibras, como son las polialilaminas y las polivinilaminas[25], que encarecen los costes de producto.

La mejora de propiedades físico-mecánicas de los papeles fabricados a partir de fibras secundarias mediante las alternativas expuestas hasta ahora presenta claras limitaciones técnico-económicas, sobre todo si el objetivo es mejorar las propiedades físico-mecánicas de los papeles originales.

2.2 Adición de nanofibras de celulosa

Una solución tecnológica para la mejora de las propiedades físico-mecánicas del papel que se puede encontrar en la bibliografía actual es la adición de nanofibras de celulosa (CNF). Las nanofibras de celulosa son fibras con diámetros en la escala nanométrica y algunos micrómetros de longitud. Además, dichas nanofibras presentan propiedades tixotrópicas, es decir, se comportan como un gel bajo condiciones normales pero pueden llegar a fluir y variar su reología cuando han sido sometidos a agitación [26, 27]. Estas nanofibras se pueden obtener de diversas fuentes tales como fibras procedentes de madera, de residuos agroforestales y de plantas anuales.

La utilización de CNF en los procesos de producción de papel puede tener varios objetivos, en función del tipo de CNF y del modo de aplicación que se seleccione (en masa y/o en superficie). Existe extensa literatura sobre la aplicación en masa de las CNF, en la que principalmente el objetivo perseguido es el incremento de las propiedades físico-mecánicas (básicamente la resistencia a tracción) mediante la adición de porcentajes discretos de CNF que no suelen superar el 6 o el 9% [28-30]. Además, los papeles que contienen CNF en masa presentan densidades superiores, debido a las fuerzas de contracción entre las fibras que las CNF ejercen, conduciendo a una mayor compactación de la hoja de papel.

En 2008, Ahola y sus colaboradores [31] estudiaron el potencial de las CNF obtenidas enzimáticamente combinadas con poliamida-epiclorhidrina (PAE) con el objetivo de lograr un efecto sinérgico entre ambas para mejorar las propiedades mecánicas en seco y húmedo. Para la resistencia en seco, los incrementos que se obtuvieron mediante la adición de CNF fueron relativamente bajos respecto a los que se pueden encontrar a día de hoy en la bibliografía [28]. Además, tal y como se concluye en la misma publicación, las CNF no propiciaron la retención de PAE tal y como los autores esperaban. Aun así, los datos mostrados en el artículo son insuficientes para determinar la efectividad de las CNF utilizadas, pues no se aportan datos sobre el rendimiento de nanofibrilación, parámetro muy útil para conocer el porcentaje de materia nanofibrilada en la suspensión de CNF y, consecuentemente, indicador de la efectividad de las CNF utilizadas. Asimismo, en esta misma publicación se plantea la posibilidad de sustituir agentes de resistencia en seco (tipo almidón nativo) por nanofibras de celulosa y PAE,

pudiendo obtener así un efecto dual entre ambos. Para la resistencia en húmedo, se obtuvieron incrementos relativamente elevados pero básicamente por la acción de la PAE.

En la línea del incremento de propiedades físico-mecánicas del papel, cabe destacar que la adición de CNF comporta muchas ventajas con respecto a los procesos convencionales que se utilizan a diario en las industrias papeleras. La mejora de las propiedades mecánicas, tal y como anunció Hubbe en un *review* publicado en 2014 [3], conduciría a la prolongación de la vida útil de las fibras celulósicas e inclusive a reducir gramajes [32-34], lo que conllevaría una economía más circular ya que, por una parte, se preciaría una menor demanda de recursos lignocelulósicos para la producción de un mismo producto y, por otra, aumentaría la permanencia del recurso en la tecnosfera.

También en 2008, los investigadores noruegos Eriksen y colaboradores [35] evaluaron la capacidad de las MFC para reforzar papel fabricado a partir de pasta termomecánica (TMP). La mayoría de las veces, utilizar el término MFC o CNF es cuestión de semántica, pues las CNF presentan diámetros nanométricos y longitudes micrométricas. Aun así, los investigadores a cargo del trabajo decidieron llamarlas MFC porque consideraron que el orden de magnitud se aproximaba más a la escala micrométrica que a la nanométrica. El trabajo estudia el efecto de la adición de un 4% de MFC sobre la resistencia a tracción del papel. Además, contempla el efecto de la energía aplicada durante la dispersión sobre las propiedades físico-mecánicas finales. Los resultados de consumo energético que presentaron fueron bastante elevados, pues no hubo un pretratamiento previo de la fibra.

Una de las problemáticas que presenta la adición en masa de las CNF es la disminución de la capacidad de drenaje de las pastas papeleras. Debido a la gran superficie específica que presentan y, por ende, la densidad superficial de grupos hidroxilos, las CNF tienen una gran capacidad de absorción de agua. Eriksen et al. (2008) [35] sugirieron que el drenaje de las pastas que contienen CNF podría mejorarse mediante la optimización de la dosis de agente de retención. Tal y como se detalla en algunas publicaciones del grupo LEPAMAP [28, 29, 36], la adición de agentes de retención tipo almidón catiónico y sílice coloidal se hace necesaria para evitar pérdidas de CNF durante el proceso de formación del papel.

Otro aspecto importante en la adición en masa de CNF es la composición de la suspensión fibrosa a la cual se quieren adicionar CNF. Por ejemplo, González y coautores [28] compararon el efecto de las CNF cuando se aplican en masa a pastas sin refinar y refinadas. En las pastas refinadas, la presencia de finos es mayor, así como la fibrilación superficial. Existen, pues, algunos impedimentos físicos que limitarán el rendimiento de las CNF. Estos autores observaron que el porcentaje de incremento en longitud de ruptura era mucho mayor para pastas no refinadas que para las refinadas. Esto parece indicar que la superficie específica disponible es un factor clave para la mejora relativa de las propiedades físico-mecánicas del papel [37].

Un caso similar al de González [28] es el que se plantea en el trabajo desarrollado en 2013 por Sehaqui y sus colaboradores [38]. En este caso, el grupo de investigación sueco propuso un trabajo que consistía en refinar a diferentes grados una pasta blanqueada de pino (1000, 2000 y 4000 revoluciones en un refinador hidratante, PFI). El principal objetivo era obtener papeles de alta densidad combinando el efecto del refinado mecánico y de las nanofibras de celulosa. Asimismo, un segundo objetivo era el incremento de propiedades físico-mecánicas. Los autores encontraron un límite de resistencia a tracción cerca de los 100 N·m/g para todos los casos. Incluso, la pasta refinada a 4000 revoluciones no mostró ningún incremento en la propiedad a tracción.

Según estos resultados, parece que la aplicación en masa de CNF en pastas refinadas no acaba de ofrecer buenos resultados, pues siguen existiendo dificultades para que las CNF desarrollen todo su potencial en lo que a propiedades físico-mecánicas se refiere. Este caso podría ser el mismo para papeles procedentes de fibras secundarias, pues se trata de fibras altamente refinadas debido a los sucesivos ciclos de reciclado. Este caso se constata en la investigación llevada a cabo por Delgado-Aguilar y colaboradores en 2015 [30], donde el incremento de propiedades físico-mecánicas que experimentó un papel compuesto por un 50% de papel de periódico y un 50% de papel de revista fue del 52% con la adición de un 3% de CNF en masa.

No obstante, estos incrementos son relativamente bajos si se comparan con los que produce un 3% de CNF sobre un soporte de pasta química blanqueada de *hardwood* (BKHP) [28], que es aproximadamente del 100%.

De un modo genérico y esquemático, las diferencias entre la interacción de las CNF en pastas vírgenes con pocos finos (como es el caso de la BKHP) y una pasta reciclada (ONP/OMG) se pueden representar como se refleja en la Figura 2.

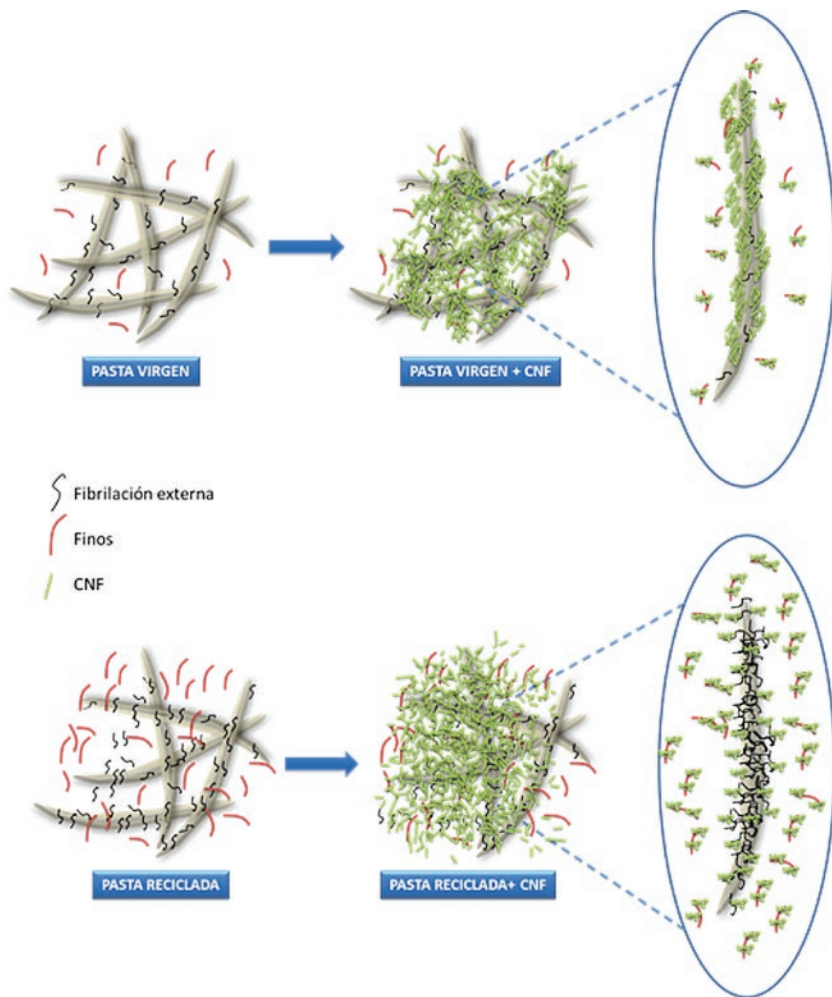


Figura 2. Modelo de interacción entre las CNF y las suspensiones fibrosas vírgenes (A) y recicladas (B)

La figura anterior refleja el mecanismo de interacción de las CNF en función de si el soporte procede pastas vírgenes con pocos finos y poca fibrilación superficial (pastas químicas) o pastas recicladas, haciendo un símil con las fibras de alto rendimiento. En las fibras vírgenes obtenidas mediante procesos químicos, apenas existe fibrilación externa ni interna, y el porcentaje de finos es bajo comparado con las pastas de ONP/OMG y SGW [30, 39]. Esto facilita el acceso a las CNF hacia la superficie de las fibras, favoreciendo la formación de enlaces entre fibras y CNF. Por otra parte, las fibras de alto rendimiento y las de fibras secundarias presentan un porcentaje elevado de finos en suspensión, así como fibrilación superficial. Lo que ocurre con este tipo de pastas es que las CNF quedan retenidas por los finos en suspensión y la fibrilación externa, pues dificultan el acceso a la superficie de la fibra. Además, un factor que influye en el rendimiento físico-mecánico de las CNF para refuerzo de papel es la composición química superficial de la composición fibrosa.

En el caso de las pastas blanqueadas, la composición química superficial es básicamente celulosa y hemicelulosas, mientras que las pastas de alto rendimiento contienen otros componentes que limitan la capacidad de enlace de las fibras, tales como pectinas, ceras y lignina.

Estos resultados tan satisfactorios desde un punto de vista técnico, son insostenibles desde un punto de vista económico como consecuencia del coste de las CNF utilizadas. Como consecuencia de ello, se realizó una profunda investigación sobre CNF obtenidas por procedimientos mecánicos con una eficiencia similar, tal y como se detallará más adelante.

En otros casos, la adición en masa de CNF favorece la retención de cargas minerales que dotan a los papeles, por ejemplo, de mejores propiedades ópticas, como la blancura para el caso del papel destinado a impresión y escritura [40], y propiedades barrera para el caso de papeles destinados a embalaje [41]. Asimismo, una mayor retención de cargas reduce los costes de producción del papel.

En 2009, Mörseburg y Chinga-Carrasco prepararon papeles a partir de pasta termomecánica y adicionaron caolín y CNF. Se observó que la pérdida de resistencia a tracción que experimentaban con el caolín, era

compensada por la adición de CNF. Además, los estudios ópticos revelaron un incremento significativo de la blancura con respecto los papeles que no contenían cargas [40].

Con la intención de estudiar el escalado de la adición de CNF, conjuntamente con precipitado de carbonato de calcio (PCC), a soportes papeleros a nivel industrial, en 2014 Ankerfors y sus colaboradores estudiaron la viabilidad técnica de aplicarlas a nivel de planta piloto [42]. Los resultados mostraron ciertos incrementos en la resistencia a tracción con la adición de CNF, si bien compensaron las pérdidas en dicha propiedad con la adición de las cargas minerales. Asimismo, la presencia de CNF en la suspensión papelerá favoreció la formación de la hoja de papel con la adición de cargas después del prensado. Aun así, existen aún muchas incertidumbres sobre el punto de aplicación en la máquina de papel de las CNF para asegurar una buena retención de las mismas.

2.3 Refinado enzimático

En 2002, investigadores de la Universitat Politècnica de Catalunya y de la Universitat de Barcelona [43] constataron que las endo- β -1,4-glucanasas favorecían la capacidad de drenaje de las suspensiones papeleras y de la resistencia a tracción a medida que se incrementaba el grado de refinado mecánico. Por lo contrario, no encontraron incrementos sustanciales cuando la pulpa no había sido refinada.

Lecourt et al. (2010) [18] estudiaron el efecto de las endo- β -1,4-glucanasas sobre varias propiedades físico-mecánicas del papel. En el susodicho trabajo, se utilizó pasta química comercial de pino blanqueada y refinada a 30°SR. Observaron incrementos notables en la resistencia a tracción del papel para cargas de enzimas comprendidas entre 100 y 400 g de enzima respecto a una Tn de peso seco de fibra. Asimismo, se estudió la capacidad de refinado que tenían las distintas pastas cuando se aplicaba un tratamiento enzimático con cargas de 100, 200, 400 y 2000 g/Tn. La capacidad de refinado se evaluó a consumo de energía constante y a resistencia a tracción constante; es decir, a medida que se incremen-

taba la carga de enzimas, la energía necesaria para alcanzar un cierto valor de longitud de ruptura era menor. Por otra parte, para un mismo consumo de energía en la etapa de refino, los valores de longitud de ruptura que se alcanzaron fueron superiores a medida que se incrementó la carga de enzimas. Estos resultados concuerdan con los reportados por Gil y sus colaboradores en el año 2009 [44], cuando, aparte de observar incrementos en la longitud de ruptura y reducciones en los consumos energéticos, constataron que las endo- β -1,4-glucanasas no hidrolizaban excesivamente la fibra, pues la generación de azúcar fue del 1-2%.

En este sentido, Kim y sus colaboradores, en el año 2006 [45] ya habían demostrado que las endo- β -1,4-glucanasas favorecían el drenaje de las pulpas y, asimismo, reducían la energía necesaria para alcanzar un mismo grado de refino. Sin embargo, no se obtuvieron incrementos en la longitud de ruptura.

También en 2010, Bajpai[46] estudió el efecto de las endo- β -1,4-glucanasas sobre las propiedades del papel. En concreto, Bajpai ofrece un *review* donde se exploran distintas aplicaciones de las endocelulasas, tales como destintado de fibras recicladas, mejora de la capacidad de drenaje y reducción del consumo energético en las etapas de refino, tal y como ya había apuntado varios años atrás [47, 48]. El estudio concluye que las endo- β -1,4-glucanasas favorecen el destintado, reducen el grado Schopper – Riegler y, tal y como ya apuntó Lecourt[18], reducen el consumo energético de las etapas de refinado.

En 2013, en las instalaciones del grupo LEPAMAP de la Universitat de Girona se desarrolló un estudio [36] de biorefino mediante la adición de endo- β -1,4-glucanasas a una pulpa química blanqueada de eucalipto sin refinar para estudiar el efecto de las enzimas sobre las propiedades físico-mecánicas. Asimismo, se estudió la combinación de la acción de las enzimas con la adición en masa de CNF obtenidas por procesos oxidativos catalizados por TEMPO a pH neutro [49]. En el mismo estudio, se optimizan las condiciones del tratamiento con enzimas por lo que respecta a pH, temperatura y concentración de enzima. Una carga de 300 g/Tn de enzima sobre peso seco de fibra condujo a incrementos en

la longitud de ruptura de más del 60%. Asimismo, con la adición de un 3% de CNF, la longitud de ruptura se incrementó en un 145%, tomando como referencia la pulpa sin refinar, con una capacidad de drenaje de 39°SR.

Más recientemente, en un trabajo publicado por Delgado-Aguilar y colaboradores [50], también se llevó a cabo una optimización de las condiciones del tratamiento enzimático en los mismos términos que se han expuesto anteriormente. Los resultados mostraron incrementos muy notorios (34%) en la longitud de ruptura, superiores a los que se pueden alcanzar mediante el refinado mecánico [30, 50].

Con el propósito de incrementar más la resistencia a tracción de las suspensiones de ONP/OMG, se estudió la viabilidad de combinar la técnica del refinado enzimático con la adición de CNF. Para ello, se adicionaron porcentajes de CNF-TEMPO.10 que oscilaron entre el 0 y el 3% sobre la suspensión de ONP/OMP previamente tratada enzimáticamente. Los resultados constataron que la adición de un 3% de CNF-TEMPO.10 sobre la suspensión tratada enzimáticamente incrementa la longitud de ruptura hasta 5421m (en formador isotrópico). Considerando este valor, y aplicando nuevamente un factor de anisotropía de 1,33, esta longitud de ruptura representaría aproximadamente 7500m en sentido máquina, valor 1,5 veces superior al que presenta el papel de periódico original [30, 50].

No obstante, en términos de mejora relativa de propiedades mecánicas, las suspensiones tratadas enzimáticamente son menos sensibles a la acción de las CNF. Comparando estos resultados con los obtenidos con las suspensiones de ONP/OMG sin tratar enzimáticamente, se constata que un 3,0% de CNF incrementa la resistencia a tracción de los papeles tratados enzimáticamente en un 21%, mientras que aquellos fabricados a partir de suspensiones sin tratar enzimáticamente experimentan un incremento del 52% [50]. Esta diferencia se debe a las diferencias en el RBA de cada suspensión [37]. La longitud de ruptura, así como otras propiedades mecánicas, dependen de varios factores: (i) el número de enlaces por unidad de volumen, (ii) la naturaleza de

dichos enlaces y (iii) la propiedad intrínseca de las fibras [25]. Cuando el RBA incrementa significa que el número de enlaces por unidad de volumen también lo hace. Además, a medida que la calidad de dichos enlaces aumenta, las propiedades mecánicas tienden a mejorar. En el hipotético caso que el número máximo de enlaces y su máxima calidad fueran alcanzados, la resistencia a tracción del papel sería la equivalente a la resistencia intrínseca de las fibras. Teniendo en cuenta esta hipótesis basada en la ecuación de Page [51], las diferencias que se observan en el rendimiento de las CNF en función de la suspensión se hacen comprensibles. Otra prueba de ello es el hecho de que las CNF presentan un mejor comportamiento cuando se aplican sobre suspensiones vírgenes [28, 36], más que en las suspensiones de fibras secundarias.

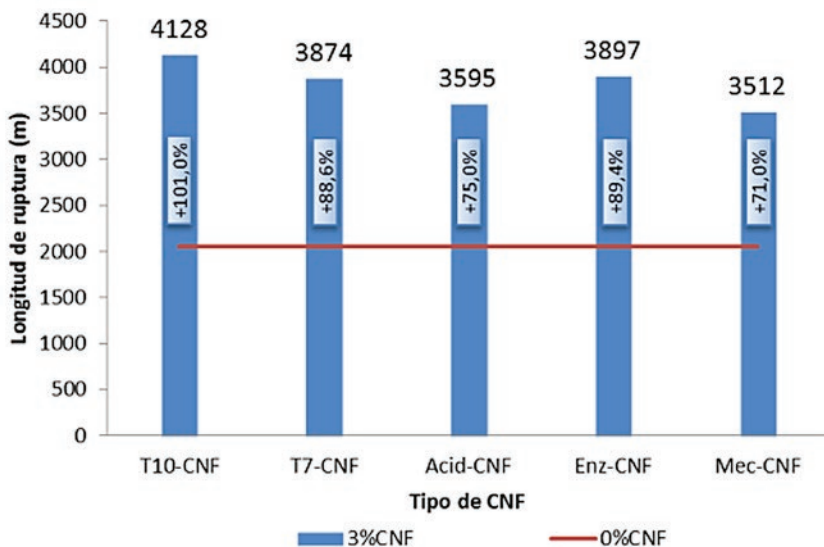
En el sentido de la discusión planteada hasta ahora, se hace patente que el tratamiento enzimático de las fibras y su combinación con la adición de CNF en masa es una alternativa interesante, no solo por el incremento de propiedades físico-mecánicas que proporciona, sino por la menor pérdida de capacidad de drenaje que imparte sobre las suspensiones papeleras [50].

3. Aspectos económicos de las nanofibras de celulosa

La mayoría de estudios relacionados con la producción, caracterización y aplicación de CNF utilizan pastas químicas blanqueadas de madera como materia prima. Asimismo, el pretratamiento por excelencia es la oxidación TEMPO ya que, según bibliografía existente, el pretratamiento químico genera un ahorro de más del 98% del consumo energético en la etapa de desestructuración [52]. En este sentido, Delgado-Aguilar y colaboradores desarrollaron un estudio [53] donde se exploraba la eficiencia técnico-económica de varias CNF preparadas por distintos métodos.

En el susodicho estudio se obtuvieron distintas CNF: oxidadas por procesos catalizados por TEMPO, hidrolizadas enzimáticamente, mediante hidrólisis ácida suave y CNF obtenidas por procesos totalmente

mecánicos. El efecto de la adición de un 3% de las distintas CNF se refleja en la Figura 3.



Donde: T10-CNF: CNF obtenidas por oxidación TEMPO a pH 10.
 T7-CNF: CNF obtenidas por oxidación TEMPO a pH 7.
 Acid-CNF: CNF obtenidas por hidrólisis ácida suave.
 Enz-CNF: CNF obtenidas por hidrólisis enzimática.
 Mec-CNF: CNF obtenidas por procesos totalmente mecánicos.

Figura 3. Efecto de la adición de un 3% de distintos tipos de CNF sobre un soporte *standard* de BKHP

Delgado-Aguilar *et al.*[53] también constataron que no se hace necesario un elevado grado de nanofibrilación para aportar al papel incrementos significativos de resistencia a tracción, pues las Mec-CNF presentan un rendimiento de nanofibrilación del 21% y proporcionan un incremento del 71% con la adición de un 3%.

Los costes de producción de las distintas CNF oscilan entre 205€ y 2,25€

aproximadamente. Como se constata en dicha publicación, los costes de producción de las CNF obtenidas por procesos de oxidación TEMPO son los más elevados, principalmente por el coste del catalizador (aproximadamente 8800,00€/kg a nivel de laboratorio). Aun existiendo alguna metodología efectiva de recuperación del catalizador, de la cual a día de hoy no hay indicios, los resultados indican que en el momento que intervienen reactivos químicos, los costes se elevan estrepitosamente. Puede que estas nanofibras puedan ser usadas en otros sectores industriales donde los productos tengan mayor valor añadido o los productores, mayor margen de beneficio. De otra parte, precisamente son las CNF obtenidas por procesos oxidativos TEMPO aquellas que presentan una capacidad de refuerzo mayor. Comparativamente, las T10-CNF presentan unos costes de producción asociados a materiales y suministros aproximadamente 100 veces superiores a las Mec-CNF con efectividades no muy distantes.

Así, descartados los pretratamientos donde intervengan reactivos químicos, la investigación de Delgado-Aguilar y colaboradores se centró en la búsqueda de CNF a bajo coste con la capacidad de proporcionar incrementos en la propiedad a tracción a aquellas obtenidas mediante procesos de oxidación TEMPO. En este sentido, se evaluaron el efecto de la presencia de bajos porcentajes de lignina en las fibras durante la producción de CNF o LCNF, en este caso [54]. Para ello, se prepararon distintos tipos de LCNF (*lignocellulosiccellulosenanofibers*) variando el porcentaje de lignina que presentaba la pasta de origen para su producción.

La presencia de LCNF incrementó el °SR, un fenómeno que ha sido reportado varias veces en otros trabajos. La pérdida en la capacidad de drenaje es atribuida a la gran superficie específica de las LCNF, la cual provee de una gran cantidad de grupos hidroxilos localizados en la superficie de las nanofibras y, en menor medida, a los grupos carboxílicos los cuales asocian una gran cantidad de agua incluso a muy bajas concentraciones; como consecuencia, las LCNF incrementan la viscosidad de la suspensión de fibras y consecuentemente reduce la velocidad de drenaje. No obstante, el incremento en el °SR es menos destacado que el reportado para pastas reforzadas con CNF fabricadas de fibras oxidadas con TEMPO [28].

La adición de las LCNF también incrementó el índice a tracción y la longitud a ruptura de los papeles fabricados a partir de las suspensiones reforzadas.

El incremento más significativo fue encontrado en las muestras reforzadas con LCNF-Mec.3, seguidas por LCNF-Mec.4, mostrando un incremento del 103 y 85% respectivamente en comparación con los papeles no reforzados. Es interesante notar que las LCNF-Mec.3 y LCNF-Mec.4 también presentan la superficie específica más alta y los contenidos más bajos de lignina de todas las muestras, por lo que su mayor efecto de refuerzo podía ser esperado. En el caso de las LCNF-Mec.3, los 4171 m de longitud a ruptura conseguidos significarían alrededor de 5630 m con una formación anisotrópica en la máquina de papel. Esta longitud de ruptura también podría ser alcanzada si se aplicara a la misma pasta alrededor de 67,5 kWh/ton de pasta en un refino mecánico industrial. Si se tiene en cuenta esta cantidad de energía y un coste de producción de 0,08€/kWh (asumiendo co-generación), el coste de energía total para refinar una tonelada de pasta sería de 4,05€ para conseguir una longitud de ruptura similar a 4171 m. En cambio, la producción de 1 kg de LCNF siguiendo la metodología descrita en el anteriormente requiere 37,33 kWh/kg, lo cual representa 2,24 €/kg de LCNF (contenido seco). Cabe destacar, que estas nanofibras también se podrían obtener al 2% de consistencia, reduciendo los costes hasta 1,49€. De este modo, dado que la adición de un 3% en peso de LCNF es requerida para alcanzar 4171 m de longitud a ruptura, se necesitarían 30 kg de LCNF por tonelada de papel, lo que significaría un coste total de producción de 67,20€ por tonelada de papel. Comparativamente, las CNF oxidadas con TEMPO tienen un coste total de producción promedio de aproximadamente 200€/kg debido a los altos precios del catalizador TEMPO y a la falta de un método efectivo a nivel industrial para su recuperación y reutilización. Considerando que 3% en peso de CNF oxidadas con TEMPO imparten un incremento en la longitud a ruptura del papel hecho de BKHW [28] similar al inducido por LCNF-Mec.3, el coste total de producción de CNF oxidadas con TEMPO sería de alrededor de 6000€ por tonelada de papel. Aunque el refino mecánico es aún mucho más económico que las LCNF para incrementar la resistencia del papel, es importante recalcar que el hecho de que un refino intenso sobre las fibras termina por dañarlas, reduciendo las propiedades originales de la pasta papelera. En este sentido, las LCNF pueden ser una alternativa que permita preservar muchas de las propiedades de la pasta y extender así su reutilización y reprocesado.

En general, los resultados del trabajo desarrollado por los investigadores

gerundenses denotan que la reducción gradual de la lignina hasta cantidades residuales en pastas mecánicas beneficia la fabricación de LCNF ya que facilita la fibrilación de las fibras.

4. Sostenibilidad en el sector papelero

La emulación de los procesos naturales para conducir a procesos menos contaminantes y/o necesitados de recursos es de gran importancia para la sostenibilidad de nuestra economía, nuestra calidad de vida y la permanencia del capital natural del que gozamos como especie.

De especial atractivo es la metáfora “simbiosis industrial”, uno de los exponentes de la disciplina conocida desde hace tres décadas como ecología industrial [55] que estudia los flujos de materia, energía e información en los sistemas industriales y su interacción con los sistemas naturales. Esta disciplina se ha aplicado a distintos sectores y ámbitos geográficos, incluyendo en Catalunya no sólo al sector papelero [56-58] sino también al del cuero [59].

La simbiosis industrial pretende aprovechar los flujos de salida de una industria como flujos de entrada para otra, directamente o mediante el intercalado de una nueva “especie industrial” que permita dicho metabolismo. Una aplicación práctica es el diseño de polígonos industriales en los que las empresas se instalan para aprovechar flujos secundarios o excedentes [60]. El objetivo último es cerrar ciclos y reducir el consumo de recursos [61]. Por ejemplo, la industria forestal sueca se organiza en *clusters* de diferentes empresas compatibles entre sí. Wolf [62] encontró 15 subproductos intercambiados en redes de dichas empresas.

Importante también es el término “Economía Circular”, fundamentalmente desarrollado por la Ellen MacArthur Foundation[63] y acogido por la Comisión Europea para definir qué economía queremos para el futuro [64]. La economía circular implica que existen dos tipos de flujos: nutrientes biodegradables, aptos para reentrar en los sistemas naturales (tomando ideas del concepto *cradle to cradle*[65]), y nutrientes técnicos, diseñados para recircularlos (ya sea por reparación, reutilización o reciclaje) el máximo número de veces posible y con calidad (creciente, a ser posible) en la tecnosfera, sin reentrar en la biosfera, ya que sólo a los biodegradables se les debe permitir volver.

Hay diferentes tipos de cambio en los materiales para poderlos mantener en la tecnosfera, también en el caso del papel. Por ejemplo [66] la venta de libros de segunda mano no implica ningún cambio degradativo. En cambio, el uso de papel ya impreso por una cara para realizar un borrador aumenta la cantidad de tinta en el mismo, aunque no perturba excesivamente su posterior reciclado. Un cambio superficial, como la extracción de tóner del papel o de las etiquetas de una caja de cartón tampoco entorpece en demasía la permanencia en la tecnosfera, al menos no tanto como redoblar una caja de cartón o su tallado. Más destructivas son opciones como la adición de algunos materiales como adhesivos al papel o al cartón, o su re-pulpado, deteriorando las fibras de celulosa.

Esta recirculación y la priorización de cambios menos destructivos es compatible con la jerarquía descrita por la Comisión Europea para la gestión de residuos desde el año 1997 [67] aunque incorporada en la legislación de una manera legalmente obligatoria en la Directiva Marco de Residuos [68], en la que se prioriza la prevención de residuos sobre la reutilización y ésta sobre el reciclaje, quedando como opción final la destrucción del material.

Si se pretenden desarrollar nuevas tecnologías aptas para una economía circular, es importante tener en consideración la manera en que el material se ve afectado. En el caso de la adición de CNF a las fibras de celulosa, por ejemplo, como se ha explicado anteriormente, les confiere unas propiedades que les permite mantenerse un mayor número de ciclos en la tecnosfera y mejorar sus propiedades físicas, sin introducir materiales incompatibles para futuras aplicaciones.

De entre todos los conceptos y disciplinas hacia la sostenibilidad, cabe destacar la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) [69], que estudia los impactos ambientales que producen los sistemas sobre diferentes áreas de interés (salud humana, uso de recursos y contaminación de los ecosistemas), considerando los residuos como recursos y cuantificando todos los efectos rebote de las decisiones tomadas para reducir los impactos.

Esta metodología se infiltra en prácticamente todos los instrumentos de decisión y gestión ambiental, debido a su carácter cuantitativo, al consenso internacional, a su fundamento científico y reproducibilidad y a la gran extensión de su uso, favorecido por herramientas informáticas y bases de datos verificadas.

Existen pocos estudios donde se apliquen estas herramientas de evaluación de impacto ambiental en los procesos papeleros donde intervengan los procesos detallados en este capítulo. Delgado-Aguilar y colaboradores desarrollaron un estudio de reciclabilidad de papel para escritura comparando la adición de CNF y el refinado mecánico, encontrando que las CNF pueden llegar, en un futuro próximo, a ser medioambientalmente competitivas con los tradicionales procesos de refinado mecánico [70].

5. Conclusiones

Del estudio bibliográfico llevado a cabo en el presente capítulo, juntamente con la experiencia del grupo LEPAMAP y de la Cátedra UNESCO del Ciclo de Vida y Cambio Climático, se derivan un seguido de conclusiones, tales que:

Las fibras procedentes del reciclado ocupan y ocuparán un papel preponderante en la reducción del consumo de recursos forestales, tanto a nivel mundial como en Europa.

Como consecuencia de lo anterior, el sector industrial papelerero deberá centrar sus esfuerzos en la mejora de las propiedades físico-mecánicas del papel mediante innovaciones químicas y bioquímicas que mejoren la capacidad de enlace inter-fibras.

Las nanofibras de celulosa (CNF), en general, constituyen un producto con propiedades muy interesantes para ser utilizadas como refuerzo de papel fabricado a partir de fibras recicladas y de alto rendimiento.

De los distintos pretratamientos aplicados para la producción de CNF, aquellas obtenidas mediante procesos oxidativos catalizados por TEMPO son las que mayor capacidad de nanofibrilación y superficie específica presentan, si la base comparativa es pasta química blanqueada para su producción y para un nivel de energía aplicada constante en el proceso de desestructuración.

Cuando las CNF se aplican en suspensiones de fibras secundarias, su potencial de refuerzo no es del mismo orden que cuando estas se aplican sobre pastas químicas vírgenes sin refinar.

La principal ventaja que presenta la adición de CNF es el mayor incremento de propiedades que proporciona al papel fabricado con fibras secundarias en

comparación con el refinado mecánico. Además, su adición no ocasiona daños estructurales en las fibras, lo que prolonga el tiempo de vida de las mismas.

Debido al potencial de refuerzo que imparten las CNF, la industria papelera podría reducir gramajes en sus productos o incluso añadir cargas minerales para reducir el consumo de fibra, contribuyendo favorablemente al medioambiente, y por ende, suponiendo un ahorro económico. Por otra parte, estas propiedades superiores conducirían a la aplicación de los papeles en productos con requerimientos físico-mecánicos más exigentes que los del papel original.

Como ocurre con el refinado mecánico de las fibras, a porcentajes de adición superiores al 4,50% las CNF afectan negativamente a la capacidad de drenaje de las suspensiones fibrosas, haciéndose imperativa la optimización de la físico-química de las mismas.

La aplicación de innovaciones bioquímicas, enzimas tipo endo- β -1,4-glucanasa, sobre suspensiones de fibras secundarias permite alcanzar propiedades físico-mecánicas superiores a las que se consiguen aplicando un ligero refinado mecánico, afectando en menor medida la capacidad de drenaje de la suspensión.

La acción sinérgica del refinado enzimático y la adición de CNF es una sólida alternativa a los procesos convencionales de refinado mecánico e incluso a la adición de CNF únicamente. La suspensión de fibras secundarias tratada enzimáticamente y con un 3% de CNF en masa presentó mayor resistencia a tracción y mayor capacidad de drenaje (5421m y 80°SR) que la suspensión sin tratamiento enzimático con el mismo porcentaje de CNF (5068m y 84°SR).

Desde un punto de vista industrial, la resistencia a tracción conseguida mediante la combinación de un 3% de CNF en masa y la aplicación superficial es muy significativa, pues se alcanzan incrementos del 119% con un °SR aceptable.

Los costes de producción de las CNF de pasta química blanqueada de eucalipto (BKHP) obtenidas mediante procesos TEMPO son insostenibles para el sector papelero. Las CNF obtenidas a partir de la misma pasta mediante procesos mecánicos suponen un coste de producción aproximadamente 100 veces inferior que las TEMPO mientras que su efectividad es solo un 30% menor sobre un mismo soporte de BKHP.

Existe un porcentaje óptimo de lignina para la nanofibrilación, mediante procesos mecánicos, de las fibras (cercano a número Kappa 20 en fibras de sof-

twood). Las LCNF-Mec.3 presentaron el mismo rendimiento, en cuanto a incremento de la resistencia a tracción, tanto sobre suspensiones de fibras secundarias como vírgenes, que las CNF obtenidas mediante procesos de oxidación TEMPO, suponiendo una disminución de costes sobre el producto final.

Cuando las CNF se aplican en papel como refuerzo, no se hace necesaria una elevada nanofibrilación para incrementar de forma significativa las propiedades del papel.

Las CNF-TEMPO.10 presentan, como mínimo, un coste de producción de 200€/kg aproximadamente, mientras que las LCNF-Mec.3 se pueden producir por 1,49€/kg, siendo 135 veces más baratas, para una misma efectividad.

Las CNF presenten un potencial muy interesante desde un punto de vista medioambiental, pues en el estadio que se encuentra su desarrollo tecnológico ya presentan ventajas en cuanto a impacto ambiental (para algunas categorías de impacto) con respecto al refinado mecánico.

6. Bibliografía

1. CEPI, “Key Statistics” European Pulp and Paper Industry. 2013.
2. Villanueva, A. and Wenzel, H., Paper waste–recycling, incineration or landfilling? A review of existing life cycle assessments. *Waste Management*, 2007. **27**(8): p. S29-S46.
3. Hubbe, M.A., Prospects for maintaining strength of paper and paperboard products while using less forest resources: A Review. *BioResources*, 2014. **1**(9): p. 1787-1823.
4. Wielema, T. and Brouwer, P., Paper performance and the increased use of fillers and pigments. *Paper technology*, 2003. **44**(9): p. 27-40.
5. Jayme, G., Micro-swelling measurement in cellulosic pulp. *Papier-fabr. Wochenbl. Papierfabr*, 1944. **6**: p. 187-194.
6. Weise, U., Hornification: mechanisms and terminology. *Paperi ja puu*, 1998. **80**(2): p. 110-115.
7. Hubbe, M.A., Venditti, R.A., and Rojas, O.J., What happens to cellulosic fibers during papermaking and recycling? A review. *BioResources*, 2007. **2**(4): p. 739-788.
8. de Ruvo, A., Htun, M., Ehrnroot, E., Lundberg, R., and Kolman, M., Fundamental and practical aspects of paper-making with recycled fibers. *Industria della Carta (Italy)*, 1980.

9. Weise, J., Hiltunen, E., and Paulapuro, H., Hornification of cellulosic pulp and measures to reverse it. *Papier*, 1998(10A): p. V14-V19.
10. Billosta, V., Brändström, J., Cochaux, A., Joseleau, J.-P., and Ruel, K., Ultrastructural organisation of the wood cell wall can explain modifications caused in fibers during the pulping process. *Cellulose chemistry and technology*, 2006. **40**(3-4): p. 223-229.
11. Welf, E., Venditti, R., Hubbe, M., and Pawlak, J., The effects of heating without water removal and drying on the swelling as measured by water retention value and degradation as measured by intrinsic viscosity of cellulose papermaking fibers. *Prog. Paper Recycling*, 2005. **14**(3): p. 1-9.
12. Lyne, L. and Gallay, W., The effect of drying and heating on the swelling of cellulose fibers and paper strength. *Tappi*, 1950. **33**(9): p. 429-435.
13. Berthold, J. and Salmén, L., Effects of mechanical and chemical treatments on the pore-size distribution in wood pulps examined by inverse size-exclusion chromatography. *Journal of pulp and paper science*, 1997. **23**(6): p. J245-J253.
14. Lindström, T. and Kolman, M., The effect of pH and electrolyte concentration during beating and sheet forming on paper strength [PFI mills, sheet forming, kraft pulps, mechanical properties, swelling]. *Svensk Papperstidning*, 1982. **85**(3): p. R14.
15. Hamzeh, Y., Najafi, S.M.H., Hubbe, M.A., Salehi, K., and Firouzabadi, M.R.D., Recycling potential of unbleached and bleached chemical pulps from juvenile and mature wood of *Populus deltoides*. *Holzforschung*, 2012. **66**(2): p. 155-161.
16. Sarwar Jahan, M., Changes of paper properties of nonwood pulp on recycling. *Tappi journal*, 2003. **2**(7): p. 9-12.
17. Hubbe, M.A., Nazhad, M., and Sánchez, C., Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: A review. *BioResources*, 2010. **5**(4): p. 2808-2854.
18. Lecourt, M., Sigoillot, J.C., and Petit-Conil, M., Cellulase-assisted refining of chemical pulps: Impact of enzymatic charge and refining intensity on energy consumption and pulp quality. *Process biochemistry*, 2010. **45**(8): p. 1274-1278.
19. Batchelor, W., Kure, K.A., and Quellet, D., Refining and the development of fibre properties. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 1999. **14**(4): p. 285-291.
20. Bhat, G.R., Heitmann, J.A., and Joyce, T.W., Novel techniques for enhancing the strength of secondary fiber. *Tappi journal*, 1991. **74**(9): p. 151-157.
21. Baker, C.F., Good practice for refining the types of fiber found in modern paper furnishes. *Tappi Journal*, 1995. **78**(2): p. 147.

22. Baker, C.F., Refining technology. 2000: Pira International.
23. Ghosh, A.K., Refining optimisation of secondary fibre-Use of Bijective Diagram technique. *Appita journal*, 2006. **59**(1): p. 24.
24. Li, B., Li, H., Zha, Q., Bandekar, R., Alsaggaf, A., and Ni, Y., Review: Effects of wood quality and refining process on TMP pulp and paper quality. *BioResources*, 2011. **6**(3): p. 3569-3584.
25. Marais, A. and Wågberg, L., The use of polymeric amines to enhance the mechanical properties of lignocellulosic fibrous networks. *Cellulose*, 2012. **19**(4): p. 1437-1447.
26. Puisto, A., Illa, X., Mohtaschemi, M., and Alava, M., Modeling the rheology of nanocellulose suspensions. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 2012. **27**(2): p. 277.
27. Tahir, P.M., Zaini, L.H., Jonoobi, M., and Khalil, H.A., Preparation of Nanocellulose from Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) via Chemical and Chemo-mechanical Processes, in *Handbook of Polymer Nanocomposites. Processing, Performance and Application*. 2015, Springer Berlin Heidelberg. p. 119-144.
28. González, I., Boufi, S., Pèlach, M.A., Alcalá, M., Vilaseca, F., and Mutjé, P., Nanofibrillated cellulose as paper additive in eucalyptus pulps. *BioResources*, 2012. **7**(4): p. 5167-5180.
29. Alcalá, M., González, I., Boufi, S., Vilaseca, F., and Mutjé, P., All-cellulose composites from unbleached hardwood kraft pulp reinforced with nanofibrillated cellulose. *Cellulose*, 2013. **20**(6): p. 2909-2921.
30. Delgado-Aguilar, M., González, I., Pèlach, M.A., De La Fuente, E., Negro, C., and Mutjé, P., Improvement of deinked old newspaper/old magazine pulp suspensions by means of nanofibrillated cellulose addition. *Cellulose*, 2015. **22**(1): p. 789-802.
31. Ahola, S., Österberg, M., and Laine, J., Cellulose nanofibrils—adsorption with poly (amideamine) epichlorohydrin studied by QCM-D and application as a paper strength additive. *Cellulose*, 2008. **15**(2): p. 303-314.
32. Gutmann, H., Nelson, W., and Yerke, J., Rule 41 implications for linerboard producers. *Tappi journal*, 1993. **76**(1): p. 158-163.
33. Kerman, N., Wirth, B., and Welt, T., First operational experience with the high efficiency synthetic dry strength agents. *Wochenblatt fur Papierfabrikation*, 2009. **137**(15-16): p. 711-715.
34. Nordström, B. and Norman, B., Effects of grammage on paper properties for twin-wire roll forming of TMP. *Journal of pulp and paper science*, 1995. **21**(12): p. J427-J431.

35. Eriksen, O., Syverud, K., and Gregersen, O., The use of microfibrillated cellulose produced from kraft pulp as strength enhancer in TMP paper. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 2008. **23**(3): p. 299-304.
36. González, I., Vilaseca, F., Alcalá, M., Pèlach, M., Boufi, S., and Mutjé, P., Effect of the combination of biobeating and NFC on the physico-mechanical properties of paper. *Cellulose*, 2013. **20**(3): p. 1425-1435.
37. Lindström, T., Fellers, C., Ankerfors, M., and Glad-Nordmark, G., On the strength mechanism of dry strengthening of paper with nanocellulose, in *Recent advances in Cellulose Nanotechnology Research*. 2014: Trondheim, Norway.
38. Sehaqui, H., Zhou, Q., and Berglund, L., Nanofibrillated cellulose for enhancement of strength in high-density paper structures. *Nord Pulp Pap Res J*, 2013. **28**(2): p. 182.
39. Delgado-Aguilar, M., Recas, E., Puig, J., Arbat, G., Pereira, M., Vilaseca, F., and Mutjé, P., Aplicación de celulosa nanofibrilada, en masa y superficie, a la pulpa mecánica de muela de piedra: una sólida alternativa al tratamiento clásico de refinado. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 2015(AHEAD): p. 0-0.
40. Mörseburg, K. and Chinga-Carrasco, G., Assessing the combined benefits of clay and nanofibrillated cellulose in layered TMP-based sheets. *Cellulose*, 2009. **16**(5): p. 795-806.
41. Nypelo, T., Osterberg, M., and Laine, J., Tailoring surface properties of paper using nanosized precipitated calcium carbonate particles. *ACS applied materials & interfaces*, 2011. **3**(9): p. 3725-3731.
42. Ankerfors, M., Lindström, T., and Söderberg, D., The use of microfibrillated cellulose in fine paper manufacturing: Results from a pilot scale papermaking trial. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 2014. **29**(3): p. 476-483.
43. Garcia, O., Torres, A., Colom, J., Pastor, F., Diaz, P., and Vidal, T., Effect of cellulase-assisted refining on the properties of dried and never-dried eucalyptus pulp. *Cellulose*, 2002. **9**(2): p. 115-125.
44. Gil, N., Gil, C., Amaral, M.E., Costa, A.P., and Duarte, A.P., Use of enzymes to improve the refining of a bleached *Eucalyptus globulus* kraft pulp. *Biochemical Engineering Journal*, 2009. **46**(2): p. 89-95.
45. Kim, H.J., Jo, B.M., and Lee, S.H., Potential for Energy Saving in Refining of Cellulase-Treated Kraft Pulp. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2006. **12**(4): p. 578-583.
46. Bajpai, P.K., Solving the problems of recycled fiber processing with enzymes. *BioResources*, 2010. **5**(2): p. 1311-1325.

47. Bajpai, P.K., *Enzymes in pulp and paper process*. 1997, San Francisco, California: Miller Free-man Books.
48. Bajpai, P. and Bajpai, P.K., Deinking with enzymes: a review. *Tappi journal*, 1998. **81**(12): p. 111-117.
49. Besbes, I., Alila, S., and Boufi, S., Nanofibrillated cellulose from TEMPO-oxidized eucalyptus fibres: effect of the carboxyl content. *Carbohydrate Polymers*, 2011. **84**(3): p. 975-983.
50. Delgado-Aguilar, M., Tarrés, Q., Puig, J., Boufi, S., Blanco, Á., and Mutjé, P., Enzymatic Refining and Cellulose Nanofiber Addition in Papermaking Processes from Recycled and Deinked Slurries. *BioResources*, 2015. **10**(3): p. 5730-5743.
51. Page, D., A theory for tensile strength of paper. *Tappi*, 1969. **52**(4): p. 674-&.
52. Josset, S., Orsolini, P., Siqueira, G., Tejado, A., Tingaut, P., and Zimmermann, T., Energy consumption of the nanofibrillation of bleached pulp, wheat straw and recycled newspaper through a grinding process. *Nord Pulp Pap Res J*, 2014. **29**: p. 167-175.
53. Delgado-Aguilar, M., Tovar, I.G., Tarrés, Q., Alcalá, M., Pèlach, M.À., and Mutjé, P., Approaching a Low-Cost Production of Cellulose Nanofibers for Papermaking Applications. *BioResources*, 2015. **10**(3): p. 5345-5355.
54. Delgado-Aguilar, M., Tovar, I.G., Tarrés, Q., Alcalá, M., Pèlach, M.À., and Mutjé, P., The key role of lignin in the production of low-cost lignocellulosic nanofibers for papermaking applications. *Carbohydrate Polymers* 2015. **In review**(-): p. -.
55. Ehrenfeld, J. and Gertler, N., Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg. *Journal of industrial Ecology*, 1997. **1**(1): p. 67-79.
56. Puig, R., Rius, A., Martí, E., Solé, M., Riba, J., and Fullana, P., *Ecologia industrial aplicada al sector paperer de Catalunya*. Afinidad, 2008. **65**(536).
57. Trisan, F., *Ecología Industrial: Intercambio de productos en el sector papelero*, 2003. Proyecto final de carrera. Escola Superior d'Enginyeria Industrial de Terrassa. Terrassa, España.
58. Houben, F., *Industrial Ecology in the Catalan paper and cardboard industry*, 2003. Proyecto final de carrera. University of Utrecht y Escola Superior d'Enginyeria Industrial de Terrassa. Utrecht, Países Bajos y Terrassa, España.
59. Notarnicola, B., Raggi, A., Puig Vidal, R., Argelich, M., Solé Gustems, M., Bautista, S., Riba Ruiz, J.-R., Fullana Palmer, P., Gazulla, C., and Calvet Puig, M.D., Industrial ecology as a planning approach for a sustainable tanning industrial estate. *Society of Leather Technologists and Chemists*, 2008. **92**(6): p. 238-244.

60. Costa, I., Massard, G., and Agarwal, A., Waste management policies for industrial symbiosis development: case studies in European countries. *Journal of Cleaner Production*, 2010. **18**(8): p. 815-822.
61. Ayres, R.U. and Ayres, L., *A handbook of industrial ecology*, ed. R.U. Ayres. 2002, Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing.
62. Wolf, A. and Petersson, K., Industrial symbiosis in the Swedish forest industry. *Progress in Industrial Ecology, an International Journal*, 2007. **4**(5): p. 348-362.
63. Ellen_MacArthur_Foundation, *Towards the Circular Economy: an economic and business rationale for an accelerated transition*. 2012.
64. Unión_Europea, *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Comunicación sobre las redes y la Internet del futuro*, 2012: p. 8.
65. McDonough, W. and Braungart, M., *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. 2010, United States: North Point Press.
66. Allwood, J., Ashby, M., Gutowski, T., and Worrell, E., *Material Efficiency: A White Paper. Resources, Conservation and Recycling*, 2011. **55**(3): p. 362-381.
67. European_Commission, *Community strategy for waste management*, en *Resolution of 24 February 1997*. 1997. Disponible en: http://cordis.europa.eu/news/rcn/7937_en.html
68. European_Union, *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives*, en *Official Journal of the European Union*. 2008. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN>
69. Consoli, F., *Guidelines for life-cycle assessment: a code of practice*. Ed. 1 ed. 1993, Pensacola, FL: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC).
70. Delgado-Aguilar, M., Tarrés, Q., Pelach, A., Mutje, P., and Fullana Palmer, P., *Are Cellulose Nanofibers a solution for a more circular economy of paper products?* *Environmental Science and Technology*, 2015. **In review**.

IX

INNOVACIÓN EN LA INDUSTRIA DE PULPA Y PAPEL EN LOS ESTADOS UNIDOS: LECCIONES PARA BRASIL¹

Hannes Toivanen²

La innovación tecnológica, ya sea pequeña o significativa, doméstica o de nivel global, ha tenido un rol crítico en la evolución de la industria moderna de pulpa y papel de los Estados Unidos desde sus orígenes, a principio del siglo XIX. Los nuevos conocimientos tecnológicos y su implementación proveen, a empresarios, firmas, industrias y a toda la región, ante todo la posibilidad de crear nuevos mercados, establecer nuevos polos productivos y avanzar en relación a los competidores.

La historia de la innovación en la industria de pulpa y papel de los Estados Unidos ofrece lecciones importantes para la industria emergente de pulpa y papel en Brasil. Principalmente, pone de manifiesto que la capacidad doméstica sostenida para producir innovaciones es el recurso estratégico crítico para la competitividad a largo plazo, nacional y a nivel empresa, y para la supervivencia de la industria en general. Dados los problemas globales de la industria hoy en día, esto está lejos de ser evidente, ya que la sobreproducción y las inversiones de capital a menudo dictaminan el actuar de las compañías. Estas lecciones reiteran la importancia de construir un sistema sectorial amplio e integrado para la industria, lo cual

1. Artículo publicado originalmente en Toivanen, H. O PAPEL 74 (9) 53-56 SEP 2013, se basa en gran medida en mi más amplio y detallado artículo: Lima-Toivanen, M B. "The South American Pulp and Paper Industry: The Cases Brazil, Chile, and Uruguay." In: J.-A. Lamberg et al. (eds.), *The Evolution of Global Paper Industry 1800–2050: A Comparative Analysis*, World Forests, Dordrecht Springer 2012.

2. Innovation and Knowledge Economy, VTT Technical Research Centre of Finland - P.O.Box 1000, 02044 VTT, Finland. Tel. +358 40 186 3882, Fax +358 20 722 7604 Email: hannes.toivanen@vtt.fi

abarca diversos actores, objetivos y una mezcla de políticas públicas y privadas.

Otra idea clave arroja luz sobre el comportamiento organizacional de la industria, especialmente en la forma en la que se expande, dando lugar a nuevos sectores especializados y migrando de una región a otra. En los Estados Unidos, sucesivas olas de innovación tecnológica de productos y procesos dieron lugar a diferentes ramas en la industria de pulpa y papel y, combinadas, provocaron una tremenda expansión en la industria por más de dos siglos. Siguiendo patrones similares, pero diferentes en escala y extensión, estas olas tecnológicas pioneras se pusieron en marcha y ganaron un poderoso impulso – inclusive global- con éxito en los negocios.

A veces, nuevas habilidades tecnológicas permiten a los empresarios valorar o crear nuevos mercados que pasan desapercibidos para otros. A veces, la investigación, el desarrollo y aprendizaje tecnológico perseverante permiten a regiones enteras transformar los menospreciados recursos naturales en un boom, encabezando una estrategia que más tarde será replicada por Brasil y las compañías brasileñas con el eucalipto. Las más grandes olas de innovación involucraron importantes dinámicas de relocalización en los Estados Unidos. En varias ocasiones, los avances tecnológicos transforman recursos naturales menospreciados en materias primas valiosas, transformando literalmente los desechos en dinero. Los eventos más importantes de este tipo conciernen a píceas del norte y pinos del sur, pero también abordan otras regiones y especies. Con el descubrimiento de una nueva fuente regional de pulpa de madera, la industria comenzó la migración construyendo un nuevo sistema industrial regional y, a veces, alterando fundamentalmente la estructura nacional de la industria.

La historia de la industria de pulpa y papel en los Estados Unidos es particularmente un buen ejemplo para aprender sobre la industria, ya que en este caso la industria ha pasado por completo de ser una industria naciente de alta tecnología a una de base predominantemente de producción y finalmente a su actual estado de decadencia y lucha por la supervivencia. De hecho, cuando se produjo el cambio de industria naciente a madura, las industrias de pulpa y papel y su relación con la innovación siguieron a menudo caminos similares. Con reiterada frecuencia, una fiebre de oro perseguía cada nueva promesa y, tarde o temprano, la nueva rama de la industria sufría una creciente y persistente sobrecapacidad, dejando plantas de capitales elevados y fábricas con ganancias en declive. Usualmente, la industria de los Estados Unidos responde con búsquedas burocráticas de producción eficiente y consolidación industrial, lo que suplanta la creatividad tecnológica y el espíritu

empresarial –a menudo agotado- como estrategias competitivas.

Si bien esta etapa todavía no se ha visto en el contexto brasilero, la resultante lucha por sobrevivir provee a veces un importante incentivo para innovar en los Estados Unidos. En muchas ocasiones, los directivos acudieron a la búsqueda y el desarrollo disciplinario para combatir desafíos tales como nuevas políticas económicas, depresión económica, o declive gradual de la demanda de productos existentes. En estos casos, la industria trató de aplazar estas dificultades apelando a su capacidad de renovación, pero raramente se logró una victoria triunfante o duradera.

En lo que sigue, proveeré un resumen de la historia de la industria de pulpa y papel en los Estados Unidos, evaluaré el rol de la innovación tecnológica en la evolución a largo plazo y trataré de formular algunos consejos para Brasil.

Innovación radical en materias primas: el nacimiento de la industria moderna de pulpa y papel

Un tema recurrente en la historia de la industria de pulpa y papel es la importante innovación radical en el procesamiento de materias primas, dando lugar en ocasiones a ramas técnicas completamente nuevas y regionales de la industria, y compensando a la vez la industria global de pulpa y papel. Esta notable innovación dio lugar a la industria de pulpa y papel moderna durante el siglo XIX, fenómeno que luego se fue repitiendo con la transición industrial en el sur de Estados Unidos, produciendo nuevos polos industriales regionales en Escandinavia y, lo que es más importante desde la perspectiva de este artículo, en Brasil.

La emergencia de la industria moderna de pulpa y papel en los Estados Unidos consistió en tres fenómenos claves: la completa transición desde fibra de algodón a madera como materia prima para pulpa, incorporando la proliferación del proceso de pulpado con sulfito como principal producción tecnológica. Segundo, la amplia adopción de la integración vertical de la fábrica y la organización de compañía, introduciendo economías de escala superiores. Y en tercer lugar, la adopción de la estructura organizativa de la empresa a gran escala por parte de los líderes industriales, lo cual les permite un control burocrático sofisticado de todos los aspectos de la fabricación de papel, desde el aspecto forestal al marketing, al conocimiento tecnológico crítico y más allá.

Ciertamente, muchos otros factores también jugaron su rol. Las mejoras en la máquina de papel y otros equipos fueron fundamentales, al igual que otros

factores. Pero ninguno de ellos ascendió a algo tan potencial como lo hicieron las tecnologías de pulpa de madera, la integración vertical, y la estructura organizativa de la empresa a gran escala.

La transición de fibras de trapo a fibras de madera durante la segunda mitad del siglo XIX marcó los comienzos de la industria de pulpa y papel. El paso de la pulpa a base de trapos ocurrió en fases superpuestas y constituyó una amplia ola de innovación en Europa y Estados Unidos. En los Estados Unidos, los problemas particulares que generaron la búsqueda de fibras de madera fue el serio problema de garantizar un suministro estable y asequible de trapos.

Después de varios inventos y experimentos, una nueva innovación surgió a mediados del siglo XIX, consistente en presionar trozos de madera contra una piedra afilada, con una fuente de agua para extraer las fibras y producir la pulpa para papel. Pronto esta revolucionaria tecnología de pulpado a la piedra fue puesta bajo una cuidadosa protección de patente por parte de sus inventores, que también la autorizaron y comercializaron, solo para descubrir que no funcionaba a escala industrial.

La creciente demanda de papel, principalmente por el aumento de los periódicos y los medios de comunicación, estimuló una mayor innovación técnica, la cual llegó con el pulpado químico, esto es, el pulpado al sulfito, a finales del siglo XIX. El proceso al sulfito consistía en un proceso químico de cocción ácida que consumía madera no resinosa en cantidades aún mayores que el proceso de pulpado a la piedra, pero requería relativamente poca energía. La demanda de energía barata y el gran suministro de madera no resinosa, tal como la píceca, dirigió estos procesos hacia el noreste de Estados Unidos, donde la energía hidroeléctrica y los bosques eran abundantes en las inmediaciones de los principales mercados.

El desarrollo de pulpa al sulfito marcó un avance en la calidad de papeles a base de pulpa de madera, y esto completó la transición desde la pulpa de trapos. Más aún, las mejoras y los cambios provocados por la introducción del proceso de pulpado al sulfito impulsaron el crecimiento de toda la industria del papel, ya que demostró ser capaz de cubrir las necesidades de la creciente industria de periódicos y otros mercados. Nuevamente se produjo una febril carrera de patentes en tecnologías de pulpa al sulfito con los empresarios tratando de aprovechar el boom.

Si bien fueron los europeos los mayores responsables de los avances en la tecnología del sulfito, los vastos rodales de píceca en el noreste de Estados Unidos y Canadá, así como el mercado de periódicos en las metrópolis de los Estados Unidos, centraron la atención de los empresarios en esas zonas. Tal oportunidad en el mercado atrajo a los empresarios e inversores, y rápidamente la industria pasó de na-

ciente a madura. La ventaja competitiva de la tecnología del pulpado al sulfito y el papel periódico incitó significativos cambios estructurales y organizacionales en la industria de pulpa y papel en el cambio de siglo en Estados Unidos. La nueva tecnología se extendió por la industria rápidamente, y las nuevas firmas y personas relevantes se apresuraron a invertir en tecnologías de producción superior y mejores locaciones para las plantas. Las nuevas fábricas se encontraban siempre integradas verticalmente, es decir, combinaban el procesamiento de la pulpa y la máquina de papel en una misma línea de producción, y comúnmente se extendían desde las grandes plantaciones de madera para pulpa hasta las redes de distribución, comúnmente ferrocarriles.

Al cabo de una década, la industria experimentó transiciones fundamentales, cuya característica central era la integración vertical de la producción de pulpa y papel. La producción anual de papel de los Estados Unidos entre 1899 y 1909, se duplicó a 4,2 millones de toneladas, al igual que la producción de pulpa. El mayor crecimiento ocurrió en fábricas de pulpa y papel integradas verticalmente. La producción de pulpa en plantas integradas verticalmente aumentó un 300% entre 1899 y 1909, y la producción de pulpa mecánica a la piedra y al sulfito en plantas integradas verticalmente en 284 y 397 por ciento respectivamente. Así, el pulpado al sulfito y la integración vertical jugaron un rol complementario crítico en la transformación de las estructuras a nivel empresa e industria.

La innovación de la empresa a gran escala permitió a los gerentes un camino eficiente para lidiar con la creciente complejidad de la producción de pulpa y papel, así como una mejor influencia sobre la tecnología y el conocimiento crítico. Muchas de las recién nacidas compañías a gran escala de pulpa y papel también fueron una respuesta al apretado clima antimonopolio, cuando se intensificaron las acusaciones y las investigaciones gubernamentales.

Innovación radical en materias primas II: la aparición de pulpa al sulfato y la industria del papel (1930-1960)

La innovación radical en el procesamiento de materias primas a mediados del siglo XX dio lugar a una reorganización masiva de la industria de pulpa y papel en los Estados Unidos y a nivel global. Esta innovación fue el proceso de sulfato que por décadas reemplazó el proceso de sulfito como tecnología de pulpado dominante. En los EE.UU, entre 1914 y 1959, la producción anual de pulpa de sulfato aumentó en más de 232 veces, de 53 a 12000 toneladas, con un pro-

medio de crecimiento anual del trece por ciento en casi más de medio siglo. Este crecimiento representó la mayor parte de la expansión de toda la industria de celulosa y papel de los Estados Unidos y la proporción de pulpa de sulfato en la producción anual nacional creció de aproximadamente 2 a casi 60 por ciento en el mismo período. La nueva tecnología de pulpado químico permitió a la industria del papel utilizar como materia prima árboles resinosos, tales como pinos del sur y al complementarlo con otras innovaciones, prácticamente eliminó el proceso de pulpado al sulfito de la industria mundial.

El desarrollo del proceso tecnológico de pulpado al sulfato fue puesto en marcha a mediados de la década de 1930 en respuesta directa a los persistentes problemas económicos de la industria, los cuales surgieron de la persistente sobrecapacidad y la decreciente demanda y precios. Algunas empresas e inventores visionarios reconocieron que con la tecnología adecuada, los bosques olvidados en el Sur y de otros lugares podrían ser utilizados para la fabricación de papel, y abrieron la posibilidad de reducir los costos de producción de manera significativa. Una visión que se asemeja a la de los pioneros de pulpa y papel en Brasil de finales del siglo 20.

La nueva innovación fue promovida por la compañía International Paper y su División Sur. Luego de la expansión de la industria del sulfato en el sur por la compañía International Paper y otras, la comunidad ingenieril americana y global se embarcó en esfuerzos de investigación y desarrollo que transformaron los procesos de pulpa y papel al sulfato en estándares industriales, erradicando prácticamente cualquier otro tipo de proceso. La innovación americana del proceso al sulfato se concentró en superar los problemas de la pulpa altamente resinosa de los pinos del sur, pero subsecuentes innovaciones se enfocaron en establecer economías de escala, aplicando el proceso a todo tipo de fuente de fibra, y en producir nuevos tipos de papeles de elevada calidad a partir de procesos al sulfato.

La pulpa al sulfato niveló la mayor parte del crecimiento de la industria de pulpa y papel de Estados Unidos desde 1950. De forma ilustrativa, la producción de pulpa blanqueada al sulfato aumentó 80000 veces en los EE.UU. entre 1931 y 1958, y casi 100000 veces si se incluye también la pulpa semi-blanqueada. La proporción de pulpa al sulfato con respecto a la producción total de pulpa de Estados Unidos aumentó de 42% en 1939 a 45% en 1947 y a 59% en 1958. Para 1960, la revolución del pulpado al sulfato en la industria americana de pulpa y papel ya era un hecho. Se había desplegado en tres oleadas, produciendo cambios organizativos fundamentales en la industria con cada una de ellas. Durante el crecimiento del

proceso de pulpado al sulfato, la tecnología dio lugar al surgimiento de la industria en el Sur, donde sus plantaciones de pino y la construcción de nueva infraestructura industrial le dieron importantes ventajas económicas. En la segunda corriente, después de 1934, una mayor maduración y mayor experiencia en el proceso de pulpado al sulfato llevaron a una masiva relocalización e inversiones al sur. Finalmente, el logro de la cocción continua proporcionó economías de escala superiores, mientras que el perfeccionamiento en los procesos de blanqueado hizo que el proceso al sulfato sea viable para la producción de todos los tipos de papel. Las últimas dos innovaciones estrecharon las ventajas con las que contaba el sur y consolidaron la pulpa al sulfato como estándar industrial en Estados Unidos y el mundo. A finales de la segunda mitad del siglo XX, la pulpa al sulfato simplemente marginalizó al resto de los procesos de pulpado.

El aprendizaje en la innovación de productos

Mientras que la innovación radical en el procesamiento de materias primas en los EE.UU ofrece una analogía directa con la experiencia brasilera de innovación en la producción de papel a partir de eucalipto, la historia de la industria de los Estados Unidos en innovación productiva es completamente diferente. Pocas industrias nacionales han sido capaces de replicar la corriente de innovaciones en productos que tuvo lugar entre mediados del siglo XIX hasta mediados del siglo XX, y en muchos aspectos las compañías de los Estados Unidos también han perdido esta capacidad.

El siglo XIX fue testigo de la introducción febril de todo tipo de innovaciones en lo que refiere a la producción de papel, que abarcó desde cajas a tazas, de sobres a toallas de papel higiénico, y así sucesivamente. El contexto de estas innovaciones fue el esperado surgimiento de la gran demanda para todo tipo de productos de papel, aunque la mayor parte de estas actividades fueron eclipsadas por el auge de la industria del papel periódico. Sin embargo, cuando la industria del papel prensa se encontró con los problemas habituales causados por el exceso de inversión en relación a la capacidad de producción, y luego fue golpeada por la dura regulación antimonopolio y la eliminación de los aranceles proteccionistas a la importación, la industria se vio en la necesidad de reinventarse a sí misma.

De esta forma, una ola sin precedentes de innovaciones en productos se produjo cerca del 1900. Al cabo de un par de décadas, la mayor parte de la industria de papel periódico migró a nuevos productos y mercados del papel, tales como cajas de corrugado y papeles higiénicos. Esta transición fue impulsada por

la lucha para sobrevivir.

El surgimiento de la industria de productos de papeles sanitarios muestra mejor cómo la industria respondió a la conmoción. La empresa Kimberly-Clark fue pionera en este aspecto, ya que intensificó su investigación y programa de desarrollo en la celulosa, y logró así producir en 1915 el Cellucotton, un material absorbente tipo algodón derivado de la celulosa de madera. El producto era especialmente adecuado para higiene y uso sanitario en hospitales y cirugías, y la participación de Estados Unidos en la Primera Guerra Mundial creó una enorme demanda para el nuevo e innovador producto, comercializado por primera vez en forma de apósitos quirúrgicos.

En las décadas subsiguientes este producto fue seguido por una serie de otras innovaciones, tal como el pañuelo de papel Kleenex. Estos productos fueron un enorme éxito, apalancando a Kimberly-Clark en una de las mayores compañías de la industria, que pronto sería seguida por otras. Estas innovaciones fueron la base de la expansión de la industria de pulpa y papel en el mercado de bienes de consumo no duraderos, un fenómeno que estuvo en aumento constante debido a la demanda de papeles tisú y muchos otros tipos de productos a base de celulosa de madera, tales como pañales de bebé. La importancia de estas innovaciones en productos fue enorme: en el caso de papel tisú, la producción en toneladas se duplicó cada diez años desde 1914 hasta 1947, cuando superó al papel prensa, aunque en valor lo había superado mucho antes.

Otro importante nexo para la innovación en productos fue la industria de los recipientes de papel, la cual había evolucionado relativamente despacio desde el invento de las cajas plegables y el papel corrugado a mediados del siglo XIX. En el siglo XX, la innovación en papel y cartón corrugado se concentró en Ohio y otros importantes centros nacionales de distribución masiva. El factor más importante para el crecimiento de estos dos productos fue el establecimiento de la caja de papel como el contenedor de envío estándar, a principios del siglo XX. La caja de papel cumplía con la emergencia del mercado de consumo masivo americano y la infraestructura de distribución masiva, y sin embargo tardó dos décadas en tener aceptación mundial. Para el inicio de la Primera Guerra Mundial, estos primeros obstáculos fueron superados por los empresarios, y la industria de envío utilizando recipientes de papel fue un boom.

Los tiempos de auge condujeron a los ya conocidos problemas de imitación, sobreinversión y sobrecapacidad, al igual que la industria del papel periódico unas décadas atrás. Las empresas líderes en recipientes de papel respondieron a tales

desafíos adoptando claras estrategias corporativas de integración vertical, economías de escala y la internalización de la investigación y el desarrollo. Lo que es más importante, las firmas líderes recurrieron a intensificar aun más la innovación productiva, trataron de prevenir imitaciones y derrotar a la competencia mediante la aplicación de estrictas normas de propiedad intelectual, y con un continuo ritmo de innovación. Hasta cierto punto esto funcionó durante dos décadas, pero la estrategia colapsó durante la regulación de economía de guerra introducida en 1940.

La innovación de la caja de papel a principios de siglo 20 fue una de las innovaciones fundamentales que encabezaron la expansión de la industria. Los recipientes de papel establecieron al cartón como la industria más importante, y a pesar de su posición de liderazgo, su tasa de crecimiento era sólo superado por segmento, mucho más pequeño, de papel tissú. Su peso entre las mejores calidades de papel aumentó de manera constante, constituyendo la mitad de la producción de 1929, y más aún en 1937 y 1947. Lo que es más importante, la invención del papel corrugado y otras cajas de papel fomentaron una cultura fructífera de innovaciones, e impulsaron a la industria a aventurarse en otras nuevas áreas.

Lecciones al mirar hacia atrás

En lo anterior he ofrecido un resumen de la historia de la industria de pulpa y papel de los Estados Unidos, dejando de lado algunas áreas de innovación importantes (como las revistas o el LWC), así como temas como la mano de obra, el medio ambiente y la economía política. Sin embargo, apunto a considerar las lecciones que pueden aprenderse de la historia para aplicarlas a sitios emergentes de la industria de pulpa y papel a nivel mundial, tal como Brasil.

Un consejo evidente es que la innovación en tecnología de pulpa y papel está determinada por la estructura económica global que abarca la industria. Las intensas corrientes de innovaciones en el procesamiento de materias primas o productos de papel han sido siempre una respuesta a la promesa de un gran auge o a la amenaza de la quiebra. De manera destacable, la ausencia de innovación puede explicarse a menudo con la economía. La sobrecapacidad y depresión persistente de los precios tienen el poder de cambiar la dirección de la innovación si las empresas pierden la fe en las posibilidades de la innovación tecnológica y se centran en la ingeniería financiera como estrategia corporativa, esto se sigue repitiendo hoy en día tal como ha sucedido en el pasado. De igual manera, los aranceles proteccionistas y los regímenes antimonopolio, todo recae sobre la innovación, pero en formas más difíciles de entender. En otras palabras, el riesgo a las fallas de mercado o el fracaso

del sistema está siempre presente, necesitando cuidado y visión a futuro en políticas públicas para la industria forestal, y enfatizando que la gerencia de alto nivel de las compañías de pulpa y papel debe tener profundo conocimiento sobre el rol de la innovación tecnológica en el futuro de la industria.

La industria brasilera de pulpa y papel está disfrutando de un tremendo auge debido a su ventaja competitiva e innovación en la fibra de eucalipto, y la industria nacional se está convirtiendo en un centro mundial clave de producción de pulpa. Con este fin, el país y la industria también han construido un amplio sistema de innovación sectorial (Toivanen y Barbosa Lima Toivanen, 2009), lo que asegura la innovación de punta en el sector.

Otra lección clave de la historia de la industria de pulpa y papel en los Estados Unidos es mirar más allá de la ola de éxito, y similarmente el gobierno y la industria brasilera deben contemplar activamente en qué mercados y áreas tecnológicas puede crecer y desarrollarse la industria. Si se descuida, es grande el riesgo de heredar una industria que lucha por sobrevivir entre la sobrecapacidad y la competencia mundial de producción de pulpa.

Es obvio que los procesos económicos y de industrialización no se replican de igual manera en distintos puntos del tiempo o el espacio. Sin embargo, la historia de la industria moderna de pulpa y papel a muestra que sus desafíos y tiempos de apogeo se desarrollan de maneras relativamente análogas en lo que respecta a las fuerzas dinámicas y determinaciones estructurales, y el gobierno y las compañías brasileñas pueden aprender de la historia de la industria.

Referencias

Toivanen, H. 2004; *Learning and Corporate Strategy: Policy, Organization, and Innovation in the North American Pulp and Paper Industry, 1860-1960.* Unpublished Ph.D. dissertation, Georgia Institute of Technology.

Toivanen H. 2012; *Waves of Technological Innovation: The Evolution of the US Pulp and Paper Industry, 1860-2000.* In: Lamberg J-A, Ojala J., Peltoniemi M., Särkkä T. (eds). *The Evolution of Global Paper Industry 1800-2050.* Springer, 49-80.

Toivanen H.; Barbosa Lima Toivanen M. 2009; "Learning, Innovation and Public Policy: The Emergence of Brazilian Pulp and Paper Industry". In Malerba F; Manil S. eds; *Sectoral Systems of Innovation in Developing Countries: Actors, Structure and Evolution.* Edward Elgar, 99-127.

X

LA EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA DE PULPA Y PAPEL EN SUDAMÉRICA: ENFOQUE EN BRASIL, CHILE Y URUGUAY¹

Maria Barbosa Lima-Toivanen²³

Introducción

Las inversiones en tecnología para conseguir mayor rendimiento principalmente en plantaciones de eucaliptus, es una de las principales razones para llegar a conocer la evolución de la industria de pulpa y papel en América del Sur. A pesar de que su historia sea reciente, no más allá que mediados del siglo XX, la región ha emergido como fabricante de clase mundial en alta calidad, principalmente en pulpa de fibra corta de eucaliptus, a través de estándares de cultivo muy productivos y liderazgo en costo y calidad. Tres países, Brasil, Chile y Uruguay, han invertido especialmente en la industria y valen la pena discutirlos con mayor detalle. Estos tres países son casos exitosos, a diferencia de otros países de la región, como Argentina, Colombia y Venezuela que potencialmente tienen las mismas ventajas comparativas, así como los mismos recursos naturales (Katz et al. 1999).

La evolución de la industria de pulpa y papel (IPP) en América del Sur está conectada con la tendencia latinoamericana de distanciarse de la sustitución de importaciones y orientarse hacia la producción a gran escala y exportación de commodities industriales a partir de su disponibilidad de recursos naturales (Herbert-Copley 1998). La expansión de las inversiones en la industria de pulpa y papel en

1. Artículo publicado originalmente en Lima-Toivanen, M.B. O PAPEL 74 (9) 51-66 SEP 2013, se basa en gran medida en mi más amplio y detallado artículo: Lima-Toivanen, M B. "The South American Pulp and Paper Industry: The Cases Brazil, Chile, and Uruguay." In: J.-A. Lamberg et al. (eds.), *The Evolution of Global Paper Industry 1800–2050: A Comparative Analysis*, World Forests, Dordrecht Springer 2012.2.

2. El autor agradece a la Asociación Tecnológica Brasileira de Pulpa y Papel (ABTCP) e a la RISI por permitir el acceso a informaciones.

3. VTT - Centro de Investigación Tecnológica de Finlandia, Espoo, Finlandia, maria_lima-toivanen@yahoo.com

Latinoamérica está destinada al mercado externo y utiliza básicamente bosques implantados de *Pinus radiata* y *Eucalyptus* como materia prima. La introducción de estas dos especies, exógenas a Latinoamérica, ha recibido tanta desaprobación como valoración (Toivanen and Lima-Toivanen 2009; Lima-Toivanen and Mikkilä 2006).

En lo que respecta al desarrollo tecnológico y al rendimiento de la producción, la industria de pulpa y papel en América del Sur ha evolucionado de manera desigual. Un hecho común a casi todos los países es que la industria se ha beneficiado con las políticas gubernamentales que impulsan la forestación basada en especies de alto rendimiento para uso principal en la producción de pulpa. La región se ha vuelto entonces muy atractiva para las inversiones extranjeras y su historia es considerada una experiencia exitosa en relación al mercado de producción de pulpa de mercado. Este éxito es el resultado de una combinación de ventajas de recursos naturales, políticas promocionales, mejoras en los niveles de productividad debido a la inversión de nuevo capital y el aumento de escala de las plantas (Herbert-Copley 1998), y la innovación en la gestión y el cultivo forestal (Toivanen and Lima-Toivanen 2009).

Durante fines de 1980 y principios de 1990, las inversiones en el sector forestal estaban basadas principalmente en inversiones nacionales. Desde la apertura de muchas de las economías sudamericanas, la Inversión Extranjera Directa (FDI por sus siglas en inglés) ha empezado a desempeñar un rol más importante. Por razones estratégicas con respecto a mantener el suministro de fibras, el FDI junto con compañías locales han elegido establecer negocios con integración vertical, empezando con las plantaciones forestales, las cuales han sido un motivo de incentivos políticos gubernamentales.

Se prevé que la región incremente su superficie de bosque implantado de 12,5 millones de hectáreas en 2006 a 17,3 millones en 2020 (FAO 2009). Debido a la disponibilidad de tierras aptas y clima favorable para inversiones, América del Sur se mantendrá en ventaja competitiva en cuanto a plantaciones forestales, así como en producción de pulpa, considerando las recientes inversiones.

Se presenta a continuación un enfoque de países, demostrando cómo la industria ha evolucionado en Brasil, Chile y Uruguay, aunque no representa el reporte completo de la evaluación.

Industria de pulpa y papel en Chile

La industria de pulpa y papel chilena está fuertemente orientada hacia la exportación, marcadamente de pulpa y papel periódico. La producción de productos de papel de mayor valor agregado es poco importante, mientras que la industria nacional de maquinaria y equipos para la fabricación de papel es rela-

tivamente débil según los estándares internacionales (Herbert-Compley 1998). Sólo dos grupos, Angelini y Matte, dominan la industria y son considerados bastante poderosos por tener importantes inversiones en otros varios sectores económicos e influencia política en el país. En la industria de pulpa y papel tienen una posición dominante, en especial en pulpa y tablas aserradas de pino, principales productos exportados por el sector (Fazio 2000).

El estudio de la industria de pulpa y papel en Chile puede justificarse por su éxito en la explotación de sus ventajas para la producción de madera, las reformas económicas del gobierno para atraer la inversión privada al sector y la introducción de incentivos para plantación de árboles, una mano de obra de menor costo que el promedio internacional, la capacidad de la industria para adaptarse a las fuerzas del mercado internacional, la proximidad al transporte por hidrovías y un conjunto de gestores altamente calificados capaces de proveer estrategias de negocio basadas en las ventajas locales y oportunidades externas (Borregaard et al. 2008; Gonzales 2005 en Catalán y Cozzens 2009). A pesar de su éxito, no se ha producido la formación de una compleja cadena productiva, red industrial, o interacciones importantes entre los actores y los componentes del espacio socio-productiva (Katz et al. 1999).

La oleada de crecimiento orientado a la exportación en Chile durante las últimas tres décadas, hasta el final de la década de 1990, se atribuye comúnmente a las estrictas políticas de “laissez-faire”: la estabilidad macroeconómica, el evitar un tipo de cambio excesivamente alto y el desmantelamiento de las barreras comerciales. Estos fueron los factores cruciales, pero no pueden ser aislados de la función del gobierno en la promoción de un crecimiento orientado a la exportación ya antes de 1973 y las políticas que fomentaron y sostuvieron el crecimiento de las exportaciones (Herbert-Copley 1998).

La industria forestal se desarrolló en Chile gracias a la introducción de dos especies exóticas de árboles para refrescar la tierra del país, la cual fue degradada debido al cultivo intensivo de cereales: el pino (*Pinus radiata*) y el eucalipto (*Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*). Estas dos especies representan alrededor del 70% de las plantaciones forestales en Chile. El *Pinus radiata*, también conocido como pino de Monterrey, se introdujo en Chile desde California a finales del siglo XIX, sin una aplicación industrial planificada, sino que más bien fue un acontecimiento afortunado. El alemán Arturo Junge, dueño de un parque en Concepción, Chile, quien llevaba a cabo experimentos con varias coníferas americanas recibió por error un lote de *Pinus radiata*. Debido a que esta especie creció más rápido que los que él había ordenado, adquirió más de ellos. El empresario forestal alemán Conrad Peters, impresionado por el rendimiento

de la especie, decidió adoptar la planta como fuente de escorias en las minas, en las operaciones de mineralización de carbón en la zona de Coronel y Lota en la Región XIII. Entre 1907 y 1912 plantó 400 hectáreas de *Pinus radiata*, la primera plantación industrial en Chile. Alrededor de 1865 se introdujeron los primeros eucaliptus en Chile. La especie *Eucalyptus globulus* fue plantada junto a los potreros en las regiones agrícolas de Chile central (Morales 2003). Los cultivos intensivos de eucaliptus fueron introducidos en la década de 1960, seguido de experiencias con otras especies de menor importancia (Luraschi 2007).

La primera empresa papelera instalada en Chile en el año 1920 fue Papeles Cordillera, propiedad de Campania Manufacturera de Papeles y Cartones SA (CMPC). Se creó por la fusión entre Comunidad Fábrica de Cartón, establecida en 1918 por Luis Matte Larraín, un empresario local, y La Esperanza, fábrica de papel y cartón, propiedad del alemán Ebbinghaus (Enciclopedia de Negocios 2003). Papeles Cordillera tenía una capacidad inicial de 2.200 ton/año de envases de papel y cartón producidos por dos máquinas de papel. Ya en ese momento, un estilo de austeridad e inversión se implementó en la empresa. En 1923, las inversiones en maquinaria e instalaciones aumentaron la capacidad de la empresa en un 50%. El objetivo de CMPC era abastecer la demanda chilena de todo tipo de papel (CMPC 2011). La evolución de la industria puede ser seguida en los períodos subsiguientes.

Estableciendo los Fundamentos de la Forestación y de la industria de pulpa y papel en Chile: 1931-1973

Este período abarca desde el desarrollo de plantaciones hasta el establecimiento de las primeras empresas y de los arreglos institucionales que apoyaron a la industria. El gobierno interpretó el papel principal, incluso si el sector privado se oponía a algunas de sus iniciativas. Los cimientos de la industria comenzaron en 1931, cuando se promulgó la Ley Forestal N°4363. Esta ley aborda los aspectos ambientales de las operaciones forestales, la definición de las tierras forestales y fue un primer intento de promover las plantaciones forestales, lo que permitía la exención impositiva sobre las tierras forestales declaradas por un período de 30 años (Morales 2003). Por otra parte, otros instrumentos de regulación se pusieron en marcha (en tipología de bosques y explotación de los bosques indígenas), se fundaron las primeras escuelas de ingeniería forestal⁴ en

4. Las dos escuelas se establecieron en la Universidad de Chile y en la Universidad Austral de Chile. Fueron fundamentales para la creación de los mecanismos institucionales y de la industria forestal en Chile (Donoso y Otero 2005).

la década de 1950 y se crearon dos instituciones de servicios forestales (INFOR y CONAF), (Donoso y Otero 2005).

El gobierno actuó promoviendo directamente la industria de pulpa y papel, principalmente entre 1940 y 1973. Sus políticas propusieron una intervención proteccionista frente a la competencia externa, la imposición de altos impuestos sobre las importaciones de productos forestales, permitiendo beneficios a la importación de maquinarias; se prohibió la exportación de madera en bruto y la tala de bosques jóvenes (Carmona y Garretón 2004), también se llevó a cabo la mayor parte de la forestación y las actividades de investigación (Carmona y Garretón 2004). Después de este período, a partir de 1974 en adelante, la política ha sido de promoción indirecta.

CORFO, Corporación de Fomento de la Producción (Corporación para el Desarrollo), fundada en 1939, jugó un papel esencial en la promoción del sector forestal y sus industrias conexas (Luraschi 2007; Katz et al., 1999). En 1942, con base en los hallazgos de los expertos forestales estadounidenses contratados para evaluar el uso potencial de los bosques de Chile en operaciones industriales, CORFO estableció el Plan de Desarrollo del Sector Forestal, que incluyó la instalación de aserraderos permanentes, una planta química para el procesamiento de pulpa de fibra larga, un planta de tablero de fibras, y una planta de impregnación de la madera (Katz et al. 1999). Sin embargo, el Plan de Desarrollo del Sector Forestal no recibió el apoyo del sector privado. Especialmente en el caso de la planta de pulpa, CMPC, la única compañía que podría haber llevado a cabo la empresa, encontró que era demasiado arriesgado. La planta propuesta exigía abastecer primero el mercado interno, como un medio de aplicar la estrategia de sustitución de importaciones (en el momento casi toda la pulpa era importada de Suecia y Finlandia). CMPC, sin embargo, pensaba en una planta de capacidad media-alta, en contra de las normas mundiales de la época. El papel de CORFO en la negociación con el Banco Mundial para el financiamiento fue decisivo en el impulso de CMPC⁵ para construir la planta de celulosa Laja y la planta de papel periódico Bío Bío a mediados de la década de 1950 (Herbert-Copley 1998; Katz et al., 1999). Con la movilización y el apoyo de CORFO, se construyeron otras plantas y empresas, como la planta de papel periódico INFORSA, la planta de impregnación de madera Impregna, Forestal Pilpilco, Laminsa y Masisa (tableros

5. CMPC pertenece al Grupo Matte, que, debido a una política inversionista conservadora y a que se concentra en las operaciones productivas y de exportación, sobrevivió hasta la gran crisis económica de la década de 1980. Esta crisis ocasionó importantes cambios de propiedad en el sector forestal.

de madera), y las principales iniciativas, la construcción de las plantas de pulpa química de fibra larga Arauco y Constitución (Katz et al. 1999).

El Estado se involucró directamente con las plantaciones a través de la CONAF, Corporación Nacional Forestal (National Forest Corporation), creada en 1970 como Corporación de Reforestación, vinculada al Ministerio de Agricultura. Entre 1970 y 1973, CONAF poseía el 67% de las 112.847 hectáreas de la zona reforestada del país (Katz et al. 1999). El decreto Ley 18.348 de 1984 definió como objetivo contribuir a la conservación, protección, gestión y aumento de la utilización de los recursos naturales renovables del país (CONAF 2011).

INFOR, el Instituto Forestal (Forest Institute), resultó del apoyo de una sólida colaboración entre la FAO, el Fondo de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, y CORFO. Mientras que en la década de 1960 Chile era aún desconocido en el mercado mundial de los bosques, INFOR desempeñó un papel relevante en la mecanización de las tareas, la gestión de las plantaciones, la introducción de especies mejoradas genéticamente y el establecimiento de técnicas y propiedades de la madera, incentivo para utilizar la madera en la construcción, e información estadística concreta sobre los recursos, la producción y el comercio (Carmona y Garretón 2004). El papel del Estado en el desarrollo del sector forestal en Chile en el período se puede resumir en el hecho de que en 1973 CORFO controlaba la mayoría de las plantas de celulosa y papel (excepto CMPC), los principales aserraderos y las principales plantas de paneles, además de su alta participación en la tenencia de acciones de sociedades de plantaciones forestales (Katz et al. 1999).

El personal técnico que participaba en la industria creó su propia asociación en 1972, la Asociación Técnica de la Celulosa y el Papel (ATP-Chile). ATP se estableció como una empresa privada con el objetivo de promover el desarrollo técnico, tecnológico y científico de las empresas, las universidades y las escuelas técnicas y privadas vinculadas a la forestación y la industria de pulpa y papel en Chile (ATP Chile 2011).

El Establecimiento de la industria de pulpa y papel: 1974-1996

Este período comprende el ascenso al poder del general Pinochet, en una fase de depresión económica, y una nueva ola de crecimiento acelerado de la industria. A partir de 1974 el gobierno adoptó una postura de mercado abierto y privatizó la mayoría de las empresas que tenía en su poder en ese entonces. Como efectos inmediatos se les permitió a las compañías exportar madera en bruto y semi-elaborada, lo que motivó nuevas inversiones en el sector forestal y sus industrias relacionadas, por ejemplo, aserraderos y pulpa. La supresión de

las barreras a las importaciones hizo posible que las empresas compren materias primas y bienes de capital a mejores precios, las empresas tuvieron que tolerar la competencia extranjera y los empresarios del sector tuvieron que adoptar una mentalidad orientada hacia las exportaciones (Katz et al. 1999).

La Ley Forestal de 1931 fue sustituida por el Decreto de Ley 701 de 1974, que hizo hincapié en los aspectos económicos de las plantaciones y estableció alguna responsabilidad ambiental correspondiente, por ejemplo, la responsabilidad de la reforestación de las zonas deforestadas (Luraschi 2007; Borregaard et al. 2008).

En relación con el sector forestal, este período puede subdividirse en tres subperíodos (Katz et al., 1999). La primera fase, desde 1974 hasta 1981, va desde el cambio de régimen político hasta el último año de crecimiento antes de la crisis de la deuda internacional y el colapso de la economía chilena en 1982, y puede considerarse como el período en que las inversiones en la industria de pulpa y papel maduraron y luego fueron privatizadas. Una ola de privatizaciones se llevó a cabo en la economía chilena y afectó también al sector forestal, con la privatización de las participaciones accionarias de la CORFO y plantaciones de CONAF. Por lo tanto, Celulosa Arauco, Forestal Arauco, Celulosa Constitución y Forestal Celco fueron transferidas a la Holding Cruzat-Larraín. En 1976 el Holding Vial compró INFORSA y sus 81.000 hectáreas de bosques. Estas empresas pagaron precios subsidiados por sus adquisiciones. Aunque los beneficios de los subsidios se convirtieron en dudosos, fue a través de estas transferencias que importantes grupos económicos nacionales se fortalecieron y se interesaron en invertir en el sector, demostrando un cambio bastante importante de actitud (Katz et al 1999; Borregaard et al. 2008). La producción de la industria forestal en Chile creció en este sub período muy por encima del promedio de la industria de transformación (9,2% contra 1,4%), y se produjeron inversiones importantes, especialmente en la producción de pulpa, como la puesta en marcha de las plantas de Celulosa Arauco (1972) y Celulosa Constitución (1975). Estas plantas eran capaces de competir a nivel internacional y la optimización y racionalización de las plantas privatizadas contribuyeron a la productividad global del sector, que alcanzó el 14% / año (Katz et al. 1999).

El segundo sub-período se refiere a la entrada de capital extranjero en la industria y los movimientos de concentración que sucedieron de 1982 a 1991. Se caracterizó por la recuperación económica y el movimiento adicional hacia una economía de libre mercado. Como un medio para proporcionar la recuperación económica, el gobierno central retomó el control de las antiguas empresas estatales y las reprivatizó. En esta ocasión, los dos principales grupos económicos del país, Angelini y Matte, realizaron importantes inversiones en el sector forestal y

llegaron a dominar la estructura accionaria de la industria como lo hacen hasta ahora. Después de 1982, una serie de inversiones extranjeras directas significativas en el sector forestal ingresaron a Chile, a menudo en colaboración con grupos nacionales, cuando el gobierno permitió el uso de fracciones de deuda para transacciones comerciales. Debido a la crisis económica que afectó a Chile en 1981, el gobierno renacionalizó muchas empresas que fueron privatizadas entre 1974 y 1978.

En una nueva fase de privatización comenzada en 1984, el Grupo Angelini adquirió el control de COPEC⁶, el mayor conglomerado de Chile, y sus activos forestales (Celulosa Arauco, Forestal Arauco, Celulosa Constitución y Forestal Constitución), en 1985. Esta adquisición de participación en Copec fue fundamental para la formación y consolidación del Grupo Angelini. Copec, estaba asociado con Carter Holt Harvey International Ltd., que en 1992 vendió su participación en el negocio a International Paper (Fazio 1997). El Grupo Angelini también fundó o adquirió participación en otras empresas del sector forestal, que van desde plantaciones a las diferentes operaciones de transformación de la madera, tales como aserraderos, paneles y tableros de madera (Fazio 1997).

CMPC es el conglomerado principal del grupo Matte en el sector forestal. Produce y comercializa pulpa y participa en los mercados de tisú, impresión, madera aserrada, papel periódico y derivados de madera y de papel (CMPC 2010). En las operaciones de internacionalización, en la década de 1990, CMPC estableció una alianza con Procter & Gamble para la fabricación y comercialización de pañales desechables y toallas sanitarias en Chile, Argentina, Paraguay y Uruguay. Esta asociación le permitió tener acceso a las nuevas tecnologías y las nuevas formas de comercializar sus productos. En la década de 1990 también aumentó considerablemente su capacidad de producción de papeles tisú en Chile y en el extranjero (Fazio 1997). Durante finales de 1980, especialmente después de 1985, la Inversión Extranjera Directa (IED) se convirtió en un factor cada vez más importante en la industria debido en parte a las oportunidades de inversión a través del intercambio de deuda (Herbert-Copley 1998). En 1985 el Banco Central de Chile presentó el Capítulo XIX del Compendio de Normas de Intercambios Internacionales, que atrajo inversiones extranjeras importantes, a menudo asociadas con los inversionistas locales. Este compendio, en comparación con el Decreto Ley 600,

6 Copec fue fundada en 1934 y entró en el sector forestal en 1976, con la adquisición y posterior fusión de las empresas que formaron Celulosa Arauco y Constitución. International Paper disputó la participación en la gestión de Copec, tras adquirir la participación en la empresa Carter Holt Harvey. No se le permitió hacerlo después de algunas maniobras realizadas por el grupo Angelini (Fazio 1997).

tuvo más éxito en la atracción de inversiones en el sector forestal. A partir de 1974, la IED forestal bajo el Decreto Ley 600 representó el 2,7% de toda la inversión extranjera (Borregaard et al. 2008). Otra consecuencia de la oleada de inversión en la industria de pulpa y papel a finales de 1980 y principios de 1990 fue que motivó el crecimiento de la experiencia local en servicios de consultoría. Al comienzo del período, el trabajo básico de diseño era hecho por empresas extranjeras, ya sean escandinavas o canadienses, y sólo la ingeniería de detalle se realizaba localmente. A medida que pasó el tiempo, las empresas de consultoría locales han llegado a tomar ventaja en todas las fases del trabajo de diseño, debido a las ventajas en costos en relación a empresas extranjeras y una mayor familiaridad con la especie local *Pinus radiata* (Herbert-Copley 1998).

El tercer sub-período, que va de 1990 a 1996, marca la concentración de la industria de pulpa y papel, tanto en el sector forestal como en el de pulpa y papel, así como el proceso de internacionalización en el que las empresas ampliaron sus operaciones a la parte meridional de América del Sur, sobre todo Argentina, Uruguay y Brasil. A nivel interno, la producción y la productividad aumentaron considerablemente en el período, hasta el 11,9 y el 7,9% anual (Katz et al. 1999). En pulpa y papel fueron aún más altos (15,3% para la producción y 10,7% para la productividad de un año), debido a la entrada en pleno funcionamiento de cuatro nuevas plantas de pulpa y la expansión de las plantas de papel (Katz et al. 1999). Las empresas invirtieron en otros países de América Latina, de una manera integrada verticalmente, con el fin de facilitar el suministro de insumos entre las diferentes áreas de negocio (aserraderos, pulpa, papel y paneles) y para mejorar los acuerdos con proveedores y clientes a través de una estrategia de búsqueda de mercado (Calderón 2007).

Consolidación Internacional y Especialización

Desde finales de la década de 1990, el sector forestal en Chile se ha integrado verticalmente y concentrado más que nunca en manos de los grupos Matte y Angelini (CMPC y Arauco, respectivamente). Este proceso de concentración llevó al éxodo de mucha inversión extranjera directa que había entrado en Chile en la década de 1990, y aunque todavía existe inversión extranjera directa en el sector, es de pequeña escala en comparación con las grandes empresas nacionales. Por ejemplo, la inversión extranjera directa de los Estados Unidos se ha concentrado en el subsector de tableros de madera, en ciertas actividades de remanufactura. Masisa SA, resultado de una fusión entre Nasisa y Terranova, en relación con el grupo suizo Schmidheiny, ahora es 53% propiedad de Grupo Nueva, también relacionado con el Grupo Schmidheiny, que mantiene una posición modesta en el subsector de tableros de madera (Borregaard et al. 2008).

Tras los movimientos de concentración en la industria de pulpa y papel, la tenencia de tierras de plantación está también muy concentrada en términos de propiedad y de las

especies explotadas. Para *Pinus radiata*, 71,1% de las plantaciones son propiedad del 2% de todos los propietarios forestales con participaciones superiores al 1.000 ha; solo dos empresas son dueñas de más del 75% de estas plantaciones, con condiciones similares en la tenencia de plantaciones de eucaliptus. En el sector de tableros de madera, tres empresas (Celco, CMPC y Masisa SA) poseen el 100% de la producción (Borregaard et al. 2008). A los efectos de este artículo, en los cuadros 1 y 2 se presentan las características de las empresas chilenas de la industria de pulpa y papel.

Además de la concentración y la expansión de la producción, los desarrollos más importantes en este período se refieren a la regulación y aplicación de la ley. La producción de pulpa alcanzada a finales de este periodo mostró el aumento más significativo de todos los tiempos, casi dos veces y media más que el alcanzado en los años anteriores, debido a la apertura de las plantas de Valdivia y Santa Fé en 2004 y 2006, respectivamente.

Los impactos ambientales de la industria de pulpa y papel en Chile han recibido una atención más dedicada desde la aprobación de una regulación ambiental más estricta y la sensibilización del público. Por un lado, la concentración de la industria de pulpa y papel y su orientación hacia las exportaciones han tenido un impacto positivo sobre el medio ambiente, logrando mayor eficiencia económica y un uso más eficiente de los recursos naturales, y centrándose en mercados de economías más desarrolladas, la exigencias impuestas por ellos tienden a ser positivas en términos de control de la legislación ambiental, y han acelerado la

Tabla 1. Operación de Plantas de Pulpa en Chile - 2010

Planta	Comienzo	Locación	Dueño	Tipo	Capacidad (1000 ton)
Licancel	1994	Región VII	Celco	BSKP/BEKP	140
Arauco I	1971	Región VIII		BKP	290
Arauco II	1991	Región VIII		BKP	500
Valdivia	2004	Región X		BKP	550
Celco	1975	Región VII		USP	355
Nueva Aldea	2006	Región VIII		BKP	1027
Santa Fé 1	1991	Región VIII	CMPC	BEKP	376
Santa Fé 2	2006	Región VIII		BEKP	780
Pacífico	1992	Región IX		BSKP	500
Laja	1958	Región VIII		BSKP/USKP	360
Total					4778

Fuente: Obtenido desde Luraschi (2007) con información de las páginas web de las firmas.

Tabla 2. Operación Plantas de Papel en Chile – 2010

Planta	Comienzo	Locación	Dueño	Producto	Capacidad
(1000 ton)					
Cartulinas Maule	1998	Región VII	CMPC	Cajas de cartón	360
Inforsa ⁷	1964	Región VIII		Papel periódico	200
Cartulinas Valdivia	1951	Región X		Cartón	70
Papeles Cordillera	1920	Puente Alto		Envases y papel tissue	330
Norske Skog					
Bío Bío	1957 ⁸	Región VIII	Norske Skog	Papel periódico	120
				Impresiones y papel tapiz	6

Fuente: Páginas web de las firmas.

modernización de la industria (Luraschi 2007). Por otro lado, la producción de riquezas no ha llevado necesariamente a la mejora de la igualdad o de otros indicadores sociales. Además, la concentración de la producción en manos de unas pocas compañías ha llevado al colapso de empresas menos competitivas y de sectores de bajo rendimiento, como las pequeñas y medianas empresas del sector de tableros. También ha estado involucrado en la pérdida de puestos de trabajo y oportunidades para las empresas de pequeña escala (LURASCHI 2007). Los casos de CELCO en Valdivia y Itata, que estaban implicadas en la contaminación ambiental en la década de 2000, demuestran que los problemas ambientales y sociales siguen siendo las preocupaciones del público con respecto a la sustitución del bosque nativo, derechos de propiedad y derechos de los pueblos indígenas (Borregaard et al. 2008 , WWF 2005).

Una nueva ley forestal se introdujo en 2007 a raíz de las discusiones de un proyecto de ley de recuperación de los bosques nativos y desarrollo forestal, que contemplaba la protección, regeneración y mejora de los bosques nativos para

7. El 1 de septiembre 2011 Inforsa se fusionó con CMPC. Todos sus activos y pasivos industriales fueron incorporados a la recién creada Papeles Ríos Vergara SA (CMPC 2011).

8. Mejoras importantes se hicieron entre 1990 y 1995 (Norske Skog Bío Bío 2011).

asegurar la sustentabilidad forestal y la política ambiental. Se criticó que el lobby de los grupos forestales, Angelini y Matte, fue responsable de que se aplazara la aprobación de la ley forestal durante 15 años (Kerosky 2007).

A pesar del hecho de que los patrones de desarrollo tecnológico de la industria de pulpa y papel en Chile todavía están por detrás de los países más desarrollados en el mundo, es importante destacar que la industria debe aventurarse en la colaboración con productores de conocimientos más avanzados e invertir a su propio riesgo para alcanzar los estándares de innovación sectorial de los países desarrollados. Aunque no se haya desarrollado hasta ahora ningún grupo forestal o sistema de innovación sectorial, el país cuenta con un grupo de instituciones que podrían hacer que esto sea posible. Una muestra de la capacidad de investigación existente que puede ser implementada por y para la industria puede verse en el Apéndice 1. Parece ser que la concentración que ha ocurrido en el sector es la principal obstrucción a la evolución y que se necesita un actor central para coordinar las iniciativas a fin de promover la innovación en el sector.

A pesar de la falta de desarrollos propios, las empresas han puesto de manifiesto la necesidad de proceder a la mejora genética de las especies utilizadas en la industria, sobre todo la de *Pinus radiata*. El ejemplo que enfatiza esta preocupación es Arauco SA, que creó su propia compañía, Bioforest S.A., para llevar a cabo este trabajo. Uno de los principales logros de la compañía fue la incorporación de la tecnología de propagación de plantas en 1999, que se realizó en colaboración con una institución canadiense experta en biotecnología forestal (Rodríguez et al. 2008).

El anuncio de la unión de CMPC con la empresa finlandesa Stora Enso, a finales de la década de 2010, trae a la atención la nueva estrategia que está adoptando la compañía. ¿Es una manera de globalizar a CMPC? Si se consideran los estándares nórdicos de desempeño ambiental y la proximidad cultural entre chilenos y uruguayos, evitando factores importantes no tenidos en cuenta por Metsä-Botnia en la construcción de su planta en Uruguay, la nueva iniciativa podría ser un éxito. De todos modos, CMPC se enfrentará a una cultura organizacional diferente, más experimentada en hacer negocios a nivel mundial y que podría conseguir más experiencia si se decide a actuar de manera más global en el futuro.

La industria de pulpa y papel de Chile es un claro ejemplo de cómo el comercio y la liberalización han llevado a un aumento los niveles de actividad de la industria y a una mejor eficiencia económica de las plantas. La industria ha evolucionado a partir de la iniciativa del gobierno a la iniciativa de la empresa privada basada en la explotación de las ventajas comparativas naturales (principalmente el clima, el suelo, la localización geográfica de los bosques, y la proxi-

midad a infraestructuras de transporte) para el beneficio de la industria. El pequeño mercado interno, sin embargo, actuó como una fuerza para impulsar a la industria en el extranjero y los productos de mayor valor agregado (pasta, papel, madera aserrada y paneles). El desafío pendiente para la industria es lograr la formación de un sistema de innovación sectorial para ampliar su competitividad.

Industria de pulpa y papel en Brasil⁹

Brasil es un participante importante en el mercado mundial de pulpa, estando en el cuarto lugar entre los mayores productores de esa commodity, especialmente pulpa de fibra corta, y en el noveno lugar en la producción de papel (Bracelpa 2013). La industria de pulpa y papel brasileña es altamente concentrada. Aunque hay 220 empresas productoras de pulpa y papel, alrededor de ocho empresas producen el 90,5% de la producción total de pulpa. La producción de papel se concentra en el sureste (49,1%) y el sur (41,3%). Las empresas utilizan los bosques implantados, principalmente de eucaliptus, que también se concentran en el sureste y sur del país (Bracelpa, 2011). Seis de las nueve empresas principales están integradas verticalmente, produciendo tanto pulpa como papel.

La evolución de la industria de pulpa y papel en Brasil se remonta a 1808, año de la inmigración de la familia real portuguesa a Brasil, cuando se discutió sobre la necesidad de producir papel internamente para la impresión de billetes, periódicos y documentos oficiales. Hay registros de algunas plantas en São Paulo en la última década de 1800 (ABTCP 2008), pero no los detalles de esas plantas.

La iniciativa de construir una industria de pulpa y papel nacional en Brasil nació con los intentos de desarrollar la pulpa de eucaliptus, gracias a empresarios dedicados en compañías, institutos de investigación, universidades y el gobierno, en el año 1900. La industria se desarrolló alrededor de una especie completamente desconocida que llegó a ser utilizadas como materia prima para la industria, lo que llevó al desarrollo de una tecnología específica para su explotación.

Aumento de la demanda y establecimiento de una red de aprendizaje sobre pulpa en base a Eucaliptus: 1900-1955

El reto principal para establecer una industria de pulpa y papel en Brasil fue encontrar plantas nativas adecuadas para la producción de pulpa. Con el estímulo del gobierno para la investigación, diversas materias primas locales se pusieron a prueba, sin salida razonable (ABTCP 2004). Fue con la exploración del eucaliptus que la industria llegó a ser conocida a nivel mundial.

9. Una versión ampliada de este capítulo fue presentado en Toivanen y Lima-Toivanen (2011).

El eucaliptus se introdujo en Brasil en 1864, y las primeras plantaciones produjeron durmientes transversales para ferrocarriles y carbón para las locomotoras. Fue Edmundo Navarro de Andrade, quien inició, en el año 1900, el trabajo científico sistemático para descubrir el árbol de eucaliptus más conveniente para el ambiente biológico de Brasil y para su explotación industrial. A principios del siglo XX en Brasil, la pulpa y el papel eran irrelevantes para el eucaliptus debido a la falta de tecnología correcta para pulpa. El estándar global prevalente en esa época, el proceso de pasta al sulfito, permitía la explotación de abeto y coníferas de fibra larga que producían papel de mejor calidad. La pulpa de eucaliptus siguió siendo una curiosidad como producto industrial y fue sujeto de investigación hasta la Segunda Guerra Mundial, cuando la escasez de materias primas y la dependencia de las importaciones de pulpa llevaron al gobierno brasileño a introducir incentivos para la investigación de nuevas fuentes de fibra.

Introducción de una política gubernamental innovadora y comprensiva: 1955-1970.

Desde la década del 50, tres factores han incentivado a la industria papelera brasilera a invertir crecientemente en investigación y desarrollo del cultivo de eucaliptus y su proceso de pulpado. En primer lugar, la llegada de Juscelino Kubitschek a la presidencia en 1955 avivó ambiciosas políticas industriales. En la industria de pulpa y papel, por ejemplo, Kubitschek concibió un programa de industrialización nacional dirigido a la sustitución de las importaciones de bienes intermediarios y durables, buscando hacer de Brasil un país autosuficiente en materia de celulosa y papel para el año 1960. En segundo lugar, el empeoramiento de la situación de escasez global de pulpa, materializada en un aumento del precio de mercado en más del 150%, paralizó las importaciones a Brasil y encausó el interés hacia nuevas fuentes de fibras. El tercer factor decisivo fue la maduración de la tecnología del proceso del pulpado al sulfato, luego de décadas de una tendencia global en innovación sustentable, y su surgimiento como tecnología de pulpado de producción masiva en los 50s.

Entre los años 1955 y 1970, el gobierno construyó instituciones destinadas a la creación y transferencia de conocimiento, tales como institutos de investigación y universidades. A su vez, expandió la política de innovación y creó nuevos instrumentos normativos enfocados a la implementación de nuevos conocimientos y tecnología. Estos instrumentos incluyeron iniciativas forestales a nivel estatal y federal, subsidios del gobierno como iniciativa para la inversión en nuevas capacidades para la producción de pulpa y papel, y varias iniciativas legales y regulatorias.

El impulso más importante que experimentó la IPP brasilera fue el establecimiento del proceso de pulpado al sulfato como el estándar global de tecnología de producción masiva. La misma presentaba grandes oportunidades para firmas brasileras, aunque su exitosa aplicación requería niveles de conocimiento tecnológico (técnico) a nivel industrial sobre el nuevo proceso y su adaptación a las fuentes de fibra virgen brasileras: Araucaria, y principalmente, eucaliptus. El aprendizaje industrial de las nuevas tecnologías de pulpado durante la década del 50 aumentó la participación de la producción de fibra corta, constituida casi únicamente por eucaliptus, desde tan sólo un 4% del total de la producción de pulpa de Brasil en 1950 hasta el 60% en el año 1960.

Los principales vehículos de esta innovación fueron las nuevas políticas industriales que introdujeron nuevas instituciones desde comienzos de los 50s. Una herramienta crítica de la nueva política fue el BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, el Banco Brasileiro de Desarrollo). Este fue el encargado de desarrollar nuevos instrumentos financieros para apoyar la industria, impulsar economías de escala y respaldar mejoras en el *know how* tecnológico en la industria.

Asimismo, una gran cantidad de nuevas instituciones educativas, universidades e institutos de investigación estatales y privados, comenzó a contribuir al desarrollo del sector de celulosa y papel. Un hito importante fue la inauguración de la primera escuela forestal de Brasil, en la Universidad Federal de Viçosa (UFV) en 1960, la cual, además de proveer educación, rápidamente se consolidó en un importante centro de transferencia de investigación y tecnología. Muchas otras universidades siguieron esta dirección y dictaron cursos sobre ingeniería forestal, silvicultura y otros aspectos de la forestación de eucaliptus. Las escuelas formaron personal capacitado científica y técnicamente con conocimientos avanzados, aceleraron la difusión del conocimiento y la tecnología, y mejoraron los contactos internacionales de Brasil.

Un ejemplo notable fue el de la Indústria de Papel Leon Feffer S.A. (hoy conocida como Cia Suzano de Papel e Celulose), la cual inició una investigación en 1954 con el fin de mejorar el proceso de producción utilizando 100% pulpa de eucaliptus. En 1957 produjeron por primera vez 120 toneladas métricas por día de pulpa de fibra corta a escala industrial. Sin embargo, la producción era más alta que la demanda, por lo que la compañía compró otra fábrica para consumir dicha pulpa. Esto sirvió de ejemplo para otras compañías, como Papel Simão y Champion Celulose e Papel S.A, las cuales convirtieron al eucaliptus en la principal materia prima para la producción brasilera de papel.

Con la expansión de la producción nacional Brasil comenzó a exportar pulpa y papel de fibra corta de eucaliptus y atrajo nuevos empresarios al negocio.

Para posibilitar el establecimiento del conocimiento y la innovación a nivel industrial, nuevas políticas industriales originaron más instituciones a comienzos de los 50s. Siguiendo esta directriz, BNDES extendió la ayuda financiera del gobierno y coordinó extensivamente inversiones industriales nacionales, desde su creación en 1952. Hasta el año 1967, BNDES extendió únicamente las garantías de préstamos a firmas de la industria de celulosa y papel. Sin embargo, sus proyectos probaron ser estratégicamente importantes para la emergente industria de pulpa de eucaliptus, comenzando con los programas de investigación pioneros a largo plazo de Cia Suzano de Papel y de Papel Simão.

En 1957, el banco lanzó su tercer proyecto para la IPP y dió apoyo a Panamericana Têxtil, la cual había sido vendida a la compañía norteamericana Champion Paper Company, en 1961. Champion convirtió la fábrica en un sitio de desarrollo e investigación a gran escala en silvicultura, genética y pulpado químico de eucaliptus.

Siguiendo el desarrollo de la industria, el BNDES introdujo su política de financiamiento y, para 1968, requirió a las compañías que adquirieran al menos la mitad de toda la producción de pulpa a partir de recursos madereros de sus propias plantaciones, emprendieran investigaciones y desarrollos sistemáticos referidos a la tecnología de proceso del eucaliptus, y mejoraran las propiedades del papel. Asimismo, el banco motivó la especificación de estándares técnicos, a través de la Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), la organización nacional de normas técnicas.

En lo referido al área institucional, una serie de nuevas leyes eliminaron los obstáculos para las plantaciones de eucaliptus y pino, y establecieron nuevas iniciativas fiscales para la reforestación industrial. Mucho de este trabajo culminó en la ley forestal, Código Florestal (Ley 4771 del 15/9/1965). Este código permitió el uso de eucaliptus y pino a gran escala para reforestación, a la vez que permitía a las compañías deducir impuestos de la reforestación, aunque se produjo en 1970.

La creación de asociaciones público-privadas en la IPP, cuyo primer ejemplo fue el Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), establecido en 1968 en la Facultad de Agricultura de la Universidad de Paulo (Esalq/USP), propició el desarrollo de empresas conjuntas de investigación y desarrollo industrial. IPEF se constituyó como modelo de asociación público-privada de I+D en la IPP, y otras escuelas forestales siguieron su ejemplo.

Innovación, Crecimiento Industrial y Emprendimiento: 1970-1985

A finales de la década de los 60, los elementos necesarios para un rápido crecimiento de la IPP brasilera se encontraban listos, incluyendo la tecnología de producción masiva mediante el pulpado al sulfato, plantaciones forestales de es-

pecies selectas de eucaliptus, personal capacitado científica y tecnológicamente, un comprensivo sistema de innovación sectorial y una ventajosa política económica. La producción nacional de pulpa de fibra corta también experimento un fuerte aumento, mientras que la industria del papel fue capaz de eliminar prácticamente su dependencia de las pulpas importadas. Existió un gran aumento en la producción de eucaliptus, empezando a finales de los 70s y la producción de pulpa de fibra corta aumentó en más de un 330% entre los años 1970 y 1980, y un 18% entre los años 1980 y 1985. Asimismo, la participación de la pulpa de fibra corta sobre el total de la producción brasilera de pulpa aumentó del 60 al 74 %, aunque, en el contexto de un crecimiento moderado, experimentó una disminución al 69% en 1985 (Bracelpa por muchos años).

Nuevas firmas y emprendimientos definieron completamente nuevas estrategias corporativas que se apartaron radicalmente de las firmas brasileras existentes. Las firmas empresariales se enfocaron en la exportación de pulpa de eucaliptus siguiendo nuevas estrategias en métodos innovadores de forestación de eucaliptus, estado del arte del proceso de pulpado al sulfato, mercados de exportación y economías de escala. Hicieron caso omiso el énfasis tradicional de la industria en la integración vertical de producción de pulpa y papel.

Aracruz y Cenibra, por ejemplo, lanzaron una masiva operación de forestación con la intención de establecer subsecuentemente fábricas de pulpa a gran escala y lograron un veloz cambio industrial en Brasil. Encabezaron una nueva estrategia y modelo de negocio desde la perspectiva brasilera y global, adoptando la forestación de eucaliptus, economías de escala y la tendencia global a la exportación, en contraste con las firmas de celulosa y papel que producían pulpa mayormente para su propia producción de papel. La culminación de esta estrategia fue la transformación, en 1985, del puerto exportador de Aracruz y Cenibra (Portocel) en Espírito Santo, en un puerto exportador de pulpa tecnológicamente avanzado y exclusivo. Mediante un emprendimiento en conjunto de Cenibra y Aracruz, financiado sustancialmente a través del BNDES, Portocel incluyó un avanzado ferrocarril, caminos y una hidrovía que comunicaba las fábricas de celulosa Cenibra y Aracruz, y creaba nuevas economías de escala en lo que concierne a la exportación de pulpa. Ambas firmas recibieron, también, apoyo por parte del gobierno, a través de medidas especiales de la IPP en su segundo Plan de Desarrollo Nacional entre 1975 y 1979. Solo las dos fábricas produjeron más de 650.000 ton/año una vez que operaron completamente -para lo que se necesitó un par de años-, lo suficiente para aumentar la producción de pulpa de fibra corta en Brasil en un 75% del nivel correspondiente al año 1976.

La iniciativa privada y la respuesta gubernamental: 1967–1990

El despegue de la industria de la pulpa de eucaliptus dio lugar a nuevos conocimientos dinámicos en el sistema sectorial de innovación de la IPP de Brasil. Al mismo tiempo en que el gobierno inició investigaciones sobre las fronteras de la forestación, nutrió las capacidades científicas y tecnológicas, y extendió otros incentivos con el fin de generar interés privado en la naciente industria, nuevas firmas de eucaliptus invirtieron intensivamente en I+D. Éstas fueron pioneras en investigación e innovación biotecnológica en Brasil, que se tradujeron directa e inmediatamente en nuevas estrategias de negocio y operaciones industriales. A finales de la década de los 60, Aracruz y Cenibra reconocieron que la biotecnología posibilitaba un mejor control del abastecimiento de eucaliptus y por lo tanto, incrementaba la productividad. En particular, técnicas nuevas de reproducción asexual marcaron un importante progreso en la producción de plantaciones de eucaliptus estandarizadas y controladas, contribuyendo en grandes mejoras en la productividad de la forestación de eucaliptus después del año 1970.

Las inversiones en I+D de eucaliptus pronto rindieron impresionantes respuestas. El lineage estandarizado mejoró la resistencia a las enfermedades, mejoró la economía de escala en la forestación y la manipulación de la madera, y facilitó el manejo del proceso de digestibilidad de la pulpa. Además, la innovación biotecnológica mejoró los rendimientos del crecimiento. Los primeros árboles de Aracruz requirieron 12 años para alcanzar el tamaño de tala, pero el sistemático programa de investigación y desarrollo llevado a cabo por la compañía disminuyó el ciclo promedio de crecimiento a 7 años para mediados de la década del 80. El IPEF estimó que la producción anual promedio de los bosques implantados brasileiros aumentó de 15 m³/ha en 1970 a casi 35 en 1985. En 2010 este indicador alcanzó 41 m³/ha (Bracelpa 2011).

A nivel estatal, las acciones realizadas, especialmente en São Paulo, fueron importantes. El IPT de São Paulo, un instituto nacional de investigación unido a la Secretaría para el Desarrollo Económico, Científica y Tecnológico del estado de São Paulo, montó un laboratorio de pruebas para atender los requerimientos de las agencias gubernamentales y firmas privadas. A principios de la década de los 60, el laboratorio fue incorporado en la división maderera como dos laboratorios: uno de productos forestales y otro de sub productos (extractivos). En asociación con la compañía finesa Jaakko Pöyry en los 70, FAPESP apoyó la actualización del conocimiento y de las habilidades sobre celulosa y papel en el IPT. Como resultado de estos esfuerzos, en 1967 el IPT estableció el Centro Técnico para la Celulosa y el Papel (CTCP) y en 1981 inauguró una planta piloto para pulpa de alto rendimiento con una capacidad de 8 t/día, con recursos del

Banco Inter Americano de Desarrollo, encausado a través de la Financiadora de Estudos e Projetos, la Agencia Brasileira de Innovación (FINEP).

La iniciativa pública y privada dio un importante puntapié para el desarrollo y crecimiento tecnológico de la industria. Ambos sectores, público y privado, crearon institutos de avanzado I+D relacionados al eucaliptus. El más importante, el Instituto Brasileiro de Investigación en Agricultura (EMBRAPA) establecido en el Centro Nacional de Investigación Forestal (CNPFF), en 1978 con el fin de dirigir el creciente interés en la forestación de eucaliptus.

En total, las plantaciones de eucaliptus aumentaron desde un millón de hectáreas en 1970 a 3,6 millones de hectáreas para 1990, y la mayoría del crecimiento provino de la plantaciones de especies de *Eucalyptus saligna* y *Eucalyptus grandis* biotecnológicamente mejoradas. Aracruz comenzó a desarrollar la silvicultura forestal en 1967, cuando creó su primera plantación industrial de eucaliptus utilizando semillas importadas al Brasil a principios de siglo veinte. El programa de clonación rindió rápidas mejoras en lo que respecta a resistencia a enfermedades y calidades de pulpado, y permitió mejorar la estandarización de materias primas fibrosas.

En Brasil, el IPEF y la Universidad de São Paulo en Piracicaba experimentaron con tecnología de clonación y lanzaron un programa de investigación sistemática en el tema. Otras compañías, como Vale do Rio Doce, Cia. Suzano, Duratex Florestal, y Klabin también lanzaron programas de clonación, los cuales fueron delegados a divisiones especiales de forestación, como Florestal Cenibra, establecida en 1983 (Cenibra 2011).

Dinámica de ajuste de aprendizaje: Sistema de Innovación y Expansión de Segunda Generación. 1990–

Desde 1985, la evolución de la IPP brasileira ha estado caracterizada por buscar la consolidación y la equiparación con firmas globales existentes pioneras en pulpa de eucaliptus. Las empresas que se incorporaron tardíamente al negocio del eucaliptus se vieron beneficiadas por el avanzado sistema sectorial de innovación de la industria -que rápidamente difundió las últimas innovaciones y conocimientos- y por las políticas gubernamentales, aunque su éxito no puede ser atribuido únicamente a este factor. Las firmas papeleras de gran escala establecidas tenían capacidades organizativas excepcionales y apoyo político para ingresar al negocio del eucaliptus en un punto donde las operaciones de la industria y los tamaños de la misma alcanzaron una escala sin precedentes en Brasil. Entre los años 1985 y 2005, la IPP de eucaliptus se expandió de forma estable, y la producción brasileira anual de pulpa de fibra corta aumentó un 60% entre 1985

y 1995 y un 81% entre 1995 y 2005. La producción masiva de pulpa se elevó de 3,7 millones de toneladas en 1985 a más de 10 millones de toneladas en 2005 (Bracelpa, varios años).

Esta expansión masiva significó cambios profundos en la estructura organizativa de la industria, debido a que las firmas brasileras existentes comenzaron a emular la estrategia de las firmas empresariales pioneras y se emparejaron con ellas. No solo tuvieron incumbencia las firmas brasileras que ingresaron al negocio del papel de eucaliptus, sino también las industrias multinacionales líderes que se localizaron en Brasil. En el 2000, la finesa-sueca Stora Enso, la segunda mayor empresa de pulpa y papel del mundo en ese momento, realizó un joint-venture con Aracruz, que fue incorporada por Votorantim Celulose e Papel (VCP) constituyendo Fibria en 2009, y desde ese año estableció su presencia en Latinoamérica.

Las dos compañías tienen la propiedad conjunta de Veracel Celulose, cuya fábrica de pulpa de eucaliptus al sulfato, ubicada en Bahía, estuvo disponible en 2005 y fue a la fecha la más grande del mundo, con una capacidad de producción anual de 900.000 ton. El emprendimiento conjunto significó la entrada de Stora Enso a Latinoamérica y su acceso seguro al estado del arte del know how sobre el eucapito. Ambas compañías comparten la producción de Veracel y, mientras VCP vende en el mercado de pulpa, Stora Enso utiliza su parte para sustituir la pulpa de abedul en sus fábricas de papel de Europa. En este sentido, el emprendimiento conjunto ha sido una importante experiencia de aprendizaje para la empresa escandinava, ya que la misma ha sido capaz de experimentar con nuevas fuentes de pulpa así como de ajustar las fábricas de papel de impresión europeas a esta nueva pulpa.

La entrada de firmas existentes al negocio de la forestación y pulpado del eucaliptus, y la subsecuente ola de fusiones cambió la estructura organizativa de la industria. En los 90, una ola consolidada caracterizó la IPP brasileras, ya que más de 30 fusiones importantes tuvieron lugar entre 1992 y 2001. Aracruz, Cenibra, Celmar, Veracel, y Jari permanecieron enfocados en la producción de pulpa y los mercados exportadores, y contaron con el 71% del mercado productor de pulpa en 2002.

La respuesta del sistema sectorial innovador brasileras hacia la reciente alza en las investigaciones sobre el genoma y el mejoramiento del eucaliptus ha seguido precedentes históricos. Firmas, asociaciones industriales, y gobiernos federales y regionales han lanzado iniciativas corporativas que coordinan los esfuerzos nacionales en investigación y transferencia de tecnología.

Las investigaciones sobre el genoma del eucaliptus tuvieron lugar en Brasil

cuando algunos de los institutos líderes en investigación, como IPEF, abogaron por la posibilidad de tecnología genética para la forestación a mediados de la década del 80. Sin embargo, el verdadero punto de quiebre tuvo lugar a comienzos de la década de los 90 con avances globales en la investigación del genoma. Desde 1994, la industria se ha advocated en mayor medida a la participación del gobierno y a la iniciación de un proyecto nacional con el fin de obtener el mapa del genoma del eucaliptus, eventualmente lanzado a comienzos del 2000.

La investigación del genoma del eucaliptus es apoyada por inversiones particularmente fuertes en Brasil. En 1997, La Fundación de Investigación del Estado de São Paulo (FAPESP) creó la Organización para la Secuenciación de Nucleótidos y Red de Análisis, que abarcaba 30 laboratorios en todo el estado. Además, el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) - ha financiado varios proyectos de investigación, y el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT) - lanzó el proyecto brasileño del Genoma en 2000. Sus numerosas iniciativas de mapeo del genoma incluyó el proyecto Genolyptus - la Red Brasileña del Genoma Eucalyptus, lanzada en 2002, como un proyecto de cooperación importante, participación de las asociaciones comerciales clave, universidades, institutos de investigación y organismos gubernamentales. El proyecto Genolyptus refleja una ambición más amplia del gobierno para crear la competitividad industrial a través de programas de investigación e innovación biotecnológica, que con el tiempo puede producir las primeras especies de eucaliptus transgénicos.

La expansión de las biotecnologías relacionadas con la forestación ha sido acompañada por un aumento de la crítica de los aspectos ambientales, sociales y éticos de la clonación, y el trabajo de investigación y desarrollo del genoma. Esto ha llevado al gobierno a introducir limitaciones ambientales y bioéticas claras. A mediados de la década de 1990 se introdujo una ley de bioseguridad específica que regula varios aspectos de las biotecnologías agrícolas y de la innovación que entró en vigor en 2005, después de muchas críticas (Ley de Bioseguridad de Brasil 11105). Los movimientos de expansión y consolidación seguían siendo muy significativos en América del Sur a finales de la primera década del 2000. El más impresionante de ellos fue la incorporación de Aracruz Celulose S.A a Votorantim Celulose e Papel S.A. La compañía resultante, Fibria SA, que inició operaciones en septiembre de 2009, se convirtió en el líder mundial en la producción de celulosa de mercado, llegando a 5.177 mil toneladas en 2009, que correspondieron a 38,9% de la producción total de Brasil. Fibria opera 5 plantas, con una capacidad total anual de 5,4 millones de toneladas de celulosa y 313.000 toneladas de papel. En la adquisición de los activos de Aracruz, Fibria también

compró su participación en Veracel (reteniendo el 50% de la empresa conjunta). En 2009 Fibria vendió su planta Guaíba a CMPC, y en 2011 su participación del 50% de Conpapel a Suzano (Pöyry 2011).

Un claro ejemplo de la expansión de las nuevas plantas, y la concentración local de este tipo de construcciones, es el complejo de industria de pulpa y papel que se está estableciendo en la ciudad de Três Lagoas, en el estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. Inaugurada en marzo de 2009, la planta de Fibria, comenzó como un proyecto de VCP, puesto en marcha con la capacidad para producir 1,3 millones de toneladas/año, y con planes de expansión de su planta mediante la construcción de una segunda línea para producir 1,75 millones de toneladas/año (Pöyry 2012). En 2009, International Paper también construyó una planta de papel, con una capacidad anual para producir 200 mil toneladas/año. Por último, la empresa Eldorado Brasil ha construido la planta de celulosa de una sola línea más grande del mundo, con una capacidad de producción de 1,5 millones de toneladas/año, que se puso en marcha a finales de 2012. La capacidad de producción de celulosa instalada en una sola ciudad después de que todas las plantas estén en operación ascenderá a 4,55 millones de toneladas/año. El suministro de madera para estas plantas se está produciendo en la región circundante. Teniendo en cuenta todas las actividades y el personal necesario para dar apoyo a las operaciones de estas plantas, además de las actividades económicas indirectas llevadas a cabo por la influencia de sus negocios, será de cierta importancia realizar un estudio sobre cómo el ambiente natural puede hacer frente a la creciente presión sobre los recursos y sobre los impactos socio-económicos consiguientes, de forma tal que se pueda guiar futuras intervenciones de este tipo y establecer la responsabilidad social corporativa de las empresas.

Se podría argumentar que los impactos positivos ya están sucediendo, teniendo en cuenta los resultados de Fibria. Para justificar la expansión de su capacidad de producción, Fibria ha afirmado que ya ha contribuido al desarrollo económico de la región por medio de los impuestos recaudados, un crecimiento del 300% del producto interno bruto de la ciudad de Três Lagoas y del 13 % de todo el estado de Mato Grosso do Sul, además de las inversiones en infraestructura y programas sociales, como el apoyo social y la educación como medios para el cumplimiento de sus compromisos de responsabilidad social corporativa (Pöyry 2011), además del uso sustentable de los recursos por las empresas. Sin duda, esto ha contribuido al aumento de la producción de la industria. No es posible, sin embargo, evaluar en un futuro próximo la gama completa de los impactos potenciales en la región o en el país con el inicio de proyectos de tal magnitud.

Industria de pulpa y papel en Uruguay

Puede proporcionarse poca información sobre la evolución del sistema de apoyo a la innovación en la industria de pulpa y papel en Uruguay debido a que esta industria es relativamente nueva en el país. Uruguay y las plantas de celulosa en su territorio aparecieron regularmente en los medios de comunicación debido a las protestas contra la instalación de plantas de celulosa en la frontera del río Uruguay a mediados de la década de 2000. Las diversas motivaciones para las protestas y las razones en las que se fundamentan han sido un tema de discusión, especialmente en lo que respecta a la responsabilidad corporativa. Una descripción del caso se encuentra en Lima-Toivanen y Mikkilä (2006), Red (2006), y Kosonen (2008), por ejemplo.

De hecho, el gobierno comenzó a alentar las plantaciones forestales a mediados de la década de 1980, lo que ha permitido aumentar la producción de la industria de pulpa y papel del país de aproximadamente 37.000 toneladas de pulpa de madera en 2005 a 938.000 toneladas en 2008 (RISIINFO 2009), con una proyección a 2,400 millones de toneladas por año con la construcción de 2-3 nuevas plantas, teniendo en cuenta los anuncios publicados por la industria, de acuerdo con la Tabla 3. Esto pondrá a Uruguay entre los líderes mundiales de producción de pulpa por el tamaño de las operaciones (pulpa kraft blanqueada de fibra corta).

Tabla 3: Inversiones previstas en la industria de pulpa y papel en Uruguay

Compañía	Ciudad	Capacidad (ton/año)	Fase	Fecha del Aviso	Final	Inversiones (millones \$)
Montes del Plata (Stora Enso & Arauco)	Punta Pereira	1,300,000	Construcc.	7/2004	2013	1,900,00
Celulosa Argentina	Sin decidir	700,000	Estudio		2021	-

Adaptado desde Lima-Toivanen y Mikkilä (2006), fuente: adaptado desde RISIinfo (2006) y Pöyry (2012)

Cuando la planta de celulosa Botnia se puso en marcha, en noviembre de 2007, la industria de pulpa y papel en Uruguay tuvo un muy bajo nivel de producción, en comparación con la de otros países de América del Sur. Hasta 2006 el país había tenido sólo tres empresas de celulosa y papel: Fábrica Nacional de Papel SA (Fanapel) productor de pulpa y papel, Papelera Mercedes SA (PAMER) e Industria

Papelera Uruguaya SA (IPUSA), ambas productoras de papel. La producción combinada de estas compañías era de alrededor de 46.000 ton métricas/año de celulosa y 11.200 ton/año de papel y cartón (Lima-Toivanen y Mikkilä 2006). Básicamente, se puede decir que la industria de pulpa y papel en Uruguay, para el público en todo el mundo, comenzó con la construcción de la planta de Botnia, ahora UPM. En 2005, Uruguay tenía 0,8 millones de hectáreas de bosques plantados y una tasa de plantación anual de 50.000 hectáreas (FAO 2009). Las inversiones para la producción de celulosa que se realizaron en Uruguay fueron diseñadas siguiendo inversiones o adquisiciones realizadas en la forestación.

En el ámbito institucional, la estructura que dio apoyo al desarrollo forestal en el país fue iniciada por el Departamento de Bosques, en la actualidad el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. La primera ley forestal de Uruguay, la ley 13723, se promulgó en 1968, y el Departamento de Montes se convirtió en el órgano ejecutivo en el campo y en la política forestal (Polla 1998). Desde 1987, con la aprobación de la Ley Forestal 15939, el gobierno ha apoyado los bosques plantados por la concesión de beneficios fiscales cuando se establecen en zonas forestales prioritarias (que se extienden desde 2.500.000 hasta 3.000.000 de hectáreas) (FAO 2009). La disponibilidad de terreno plano a buen precio y el clima y tierra favorable proporcionaron las condiciones ideales para el aumento de las plantaciones.

Las operaciones de la finlandesa Botnia comenzaron en Uruguay con la compra del 60% de la empresa uruguaya Compañía Forestal Oriental SA (FOSA anteriormente) de Shell International Renewables B.V. (Shell). Originalmente, FOSA fue fundada en la década de 1990 por UPM Kymmene Oy y Shell. Forestal Oriental es uno de los propietarios de bosques más grandes de Uruguay y uno de los pioneros en el cultivo de eucaliptus y producción de plantines. En 2008, Forestal Oriental tenía aproximadamente 100.000 hectáreas de plantaciones de eucaliptus, que eran suficientes para cubrir aproximadamente el 70% de las necesidades de madera de la fábrica. El resto fue cubierto por la compra a propietarios de tierras privadas con acuerdos a largo plazo. Para Botnia, los factores importantes para sus operaciones en Uruguay fueron la disponibilidad y el acceso a la madera y la condición de zona de libre comercio (Kosonen 2008).

El proyecto de planta de celulosa realizado por Botnia SA fue fundada en Uruguay por Metsä-Botnia (82,1%), UPM-Kymmene (12,4%), Metsäliitto (5,5%), y el Grupo Otegui, un socio local, (9%). En diciembre de 2009, los activos de Metsäliitto, M-Real, Botnia y Forestal Oriental se vendieron a la finlandesa UPM. UPM se convirtió en el propietario del 91% de la planta de celulosa de Fray Bentos y el 100% de Forestal Oriental.

La española Ence comenzó a invertir en Uruguay en 1990 con la creación

de una filial, llamada Euroflores, para llevar a cabo operaciones de plantaciones y para la gestión de sus bosques naturales. La empresa era propietaria del 94% de las 53.000 hectáreas de bosque y fue el principal exportador de productos de madera en Uruguay. Euroflores también es accionista de la terminal logística de M'Bopicuá, también ubicada en Fray Bentos, de Maserlit, un aserradero de *Eucalyptus grandis*, que produce 35.000 m³ de madera aserrada por año, y también opera un centro de logística en la ciudad de Peñarol, donde cuenta con una planta de astillado de madera (Lima-Toivanen y Mikkilä 2006). Sus activos fueron vendidos a la finlandesa Stora Enso y la chilena Arauco, que constituyeron el *joint venture* Montes del Plata en octubre de 2009, con el objetivo de construir una planta con una capacidad de 1,3 millones de toneladas/año. A principios de 2011, el gobierno de Uruguay concedió a las empresas la licencia ambiental para continuar con más estudios para la construcción de la planta.

Las empresas que han construido plantas de celulosa en Uruguay han anunciado que sus inversiones se llevan a cabo siguiendo las mejores tecnologías disponibles para la producción y la gestión ambiental, con la aplicación del proceso libre de cloro elemental (ECF), por ejemplo, previendo el suministro de sus operaciones de papel en Europa. Esto debiera proporcionarles el apoyo necesario como credenciales para sus operaciones y normas ambientales. Sin embargo, no debieran dar por sentado que esto los liberará de recibir críticas.

El entorno desafiante para la industria de pulpa y papel en Uruguay y la responsabilidad social corporativa

Las empresas que invierten en Uruguay cuentan con una situación precedente sobre la cual construir sus estrategias. El clima de negocios en el país es bastante estable, pero el proyecto Botnia se vio afectada por la política regional, lo cual fue un impedimento para la aprobación de las operaciones de la compañía. La oferta local de conocimientos y tecnologías para las empresas es otro desafío.

En cuanto a los retos a las empresas, a pesar de que la controversia entre Uruguay y Argentina por la instalación de las plantas de celulosa en Uruguay se convirtió en una preocupación sobre todo para los ecologistas, también se ajusta a la discusión sobre los conflictos políticos que impactan en los negocios y la responsabilidad social de las empresas. Aunque el caso fue específico para Uruguay y Argentina, muestra que existe un alto nivel de conciencia ambiental entre las personas y organizaciones involucradas con la aprobación y validación social de las inversiones de esta naturaleza en América del Sur y no sólo en el caso de Uruguay.

Como se dijo antes, Ence canceló sus inversiones en Uruguay y vendió sus activos a Stora Enso y Arauco. Estas empresas decidieron instalar su planta conjunta

de celulosa en Punta Pereira en lugar de Fray Bentos, según lo previsto por Ence. La planta de Botnia entró en producción en noviembre de 2007. La disputa política y jurídica entre Argentina y Uruguay se resolvió el 14 de noviembre de 2010. A partir de esa fecha en adelante, ambos países comparten el monitoreo de la planta de UPM a través de la CARU. Con la concesión de la licencia ambiental a Stora Enso y Arauco, la reacción de los argentinos es una expectativa para los medios de comunicación y las propias empresas (YLE 2011), aunque no se ha dejado sentir aún.

Investigación y Desarrollo para las Plantas de Celulosa

En cuanto a la oferta de recursos humanos competentes e instalaciones para la industria forestal, Uruguay todavía está defasado. Según Foelkel (2008) los principales problemas son la falta de investigación y desarrollo en las instituciones educativas en el país, así como la necesidad de ajustes y adaptaciones de la tecnología forestal, desde el mejoramiento genético de árboles a las prácticas silvícolas y procesos productivos industriales y mejores prácticas. Como ejemplo de este último, la productividad forestal varía de 10 a 32 metros cúbicos por hectárea por año, muy lejos del 40-50 conseguido en Brasil, a pesar de que algunas empresas forestales utilizan técnicas de clonación (Foelkel 2008).

Las pocas instituciones destacadas en Uruguay que podría abastecer de investigación y desarrollo y de profesionales cualificados son la Universidad de la República (UdelaR), el Laboratorio Tecnológico de Uruguay (LATU), y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), a pesar de que no tienen tradición en participar en alianzas para ofrecer soluciones a este tipo de demandas especializadas. Con el fin de ofrecer soluciones, la industria local está invirtiendo en la mejora de los recursos humanos. Se están creando cursos de licenciatura y posgrado, orientados a las tecnologías forestales y de la madera. Un ejemplo de las soluciones puede ser visto a través del recientemente creado curso de maestría en ciencia y tecnología de la celulosa y el papel, en una asociación entre el Departamento de Ingeniería de Productos Forestales de la Universidad de la República, Universidad de Helsinki de Ciencias Aplicadas (Finlandia), LATU y compañías forestales junto con sus proveedores (Foelkel 2008).

La industria de pulpa y papel en Uruguay se encuentra en un proceso de reestructuración de propiedad y de construcción intensiva de plantas de celulosa. Las empresas confían en la experiencia interna para proporcionar soluciones tecnológicas y a la vez suministran educación técnica a los locales con el fin de garantizar un suministro de mano de obra. El “caso uruguayo” es un caso a seguir no sólo para verificar los resultados políticos y jurídicos, sino también por la posibilidad de verificar el impacto que tal concentración de plantas puede tener sobre el medio ambiente.

Puede ser un modelo para influir en el gobierno y en las empresas para la toma de decisiones sobre la conveniencia de apoyar iniciativas relacionadas con la ubicación de nuevas plantas de pulpa y papel.

Consideraciones finales

Los casos presentados en este documento representan la trayectoria del desarrollo de la industria de pulpa y papel sudamericana, los recientes movimientos de concentración de las operaciones de producción de celulosa en la región y la experiencia establecida, con el fin de asegurar su ventaja competitiva. Las diferentes trayectorias elegidas por la industria en Chile y Brasil, y sus últimos avances en los negocios de la industria de pulpa y papel, pueden parecer muy avanzados en comparación con el principio mismo de la historia de la industria de pulpa y papel.

En el caso de las empresas brasileñas, se puede observar que el crecimiento de la industria se produjo en conjunto con el establecimiento de instituciones tecnológicas y educativas, a menudo con la participación de las empresas en la administración de estas instituciones, que llegó a jugar un papel importante en el desarrollo de las propias empresas. La estrategia de asociación que la industria adoptó desde el principio, y que se originó en las mentes de los empresarios, el gobierno, las empresas y las instituciones de investigación, fue el principal motivo para la adopción de la tecnología como motor de crecimiento y experiencia. El factor de vanguardia fue sin duda la adopción del eucaliptus como materia prima, lo que exigió el montaje de una estructura de creación de conocimiento a ser explorada. Debe reconocerse el instinto visionario de los primeros exploradores de la madera por este emprendimiento. Una vez garantizada la asociación como corriente principal, las empresas se están beneficiando de las ventajas competitivas construidas con el fin de expandir sus operaciones y participar cada vez más en el mercado mundial, especialmente en la producción de celulosa.

El crecimiento de la industria no se produjo sin críticas de varios sectores de la sociedad. Aunque no tan fuertemente como lo sucedido en el caso de Uruguay, se han producido movimientos que indican la insuficiencia de enfoques ambientales y sociales que las empresas han tenido en la realización de sus negocios en el ámbito local. Hay, sin embargo, muchos ejemplos positivos de cómo el compromiso de responsabilidad social empresarial ha facilitado la aceptación de las empresas por parte de las comunidades afectadas, sobre todo ahora, cuando las plantas se construyen lejos de los principales centros urbanos y se cree que contribuyen a la reducción de desigualdades regionales.

En el caso de Chile, las interacciones para el desarrollo tecnológico de la industria no han ocurrido con la frecuencia suficiente, ya que las empresas optaron

por no desarrollar sus propias tecnologías e invertir, sobre todo, en sus ventajas comparativas, como la disponibilidad de materias primas y el bajo costo de la mano de obra, de acuerdo con su conocimiento sobre el entorno empresarial local. La concentración y en cierta medida la falta de competencia en el mercado interno llevaron a las empresas a esta posición un poco cómoda. La concentración de la industria y las razones por las que esto se produjo, muestran más el instinto político y económico de los empresarios que lo produjeron, que su interés en participar en el avance tecnológico de la industria.

El gobierno fue más emprendedor, en el sentido de dar inicio a las primeras operaciones en el país. Las empresas no se desafiaron a sí mismas para promover novedades en ningún aspecto de sus operaciones. El joint venture de CMPC con Stora Enso en su planta uruguaya puede ser de naturaleza conflictiva teniendo en cuenta las diferencias en los estándares tecnológicos de sus empresas. Las empresas, sin embargo, están afrontando pocos riesgos ya que una tiene dominio de la tecnología y la otra maneja el conocimiento local. ¿Será un caso exitoso, no tan frenético en los medios de comunicación como ha sido la planta de UPM en el pasado?

En el caso de Uruguay, poco se pudo demostrar en términos de la situación competitiva de la industria debido a que no ha habido casi ningún desarrollo hasta la reciente ola de inversiones que sucedieron en el país. De cualquier modo, el caso sigue siendo interesante, en cuanto a cómo las empresas recientemente instaladas harán frente a esta falta de capacidad tecnológica local. Los retos que la nueva planta de UPM ha enfrentado podrían por lo tanto ser de interés para otras empresas que compran propiedades y planifican abrir plantas en el país. Si el desarrollo y la adquisición de tecnología no fueran problemas emergentes, ellas podrían traer su propia tecnología y educar a las personas con la experiencia necesaria; en ese caso, las características de la identidad local desempeñarían un papel más importante de lo previsto en la conducción de los negocios.

Después de haber presentado los casos, queda una pregunta: ¿cuál será el futuro de la industria de pulpa y papel en América del Sur en su conjunto? A medida que las empresas amplíen sus operaciones, ¿cómo se adaptarán los recursos de los países? Sobre todo, ¿qué tipo de regulaciones entrarán en vigencia? Como las reglas de regulan el uso, impacto y preservación del ambiente han sido recientemente el tema principal de discusión, se espera que la concentración y el tamaño de las empresas puedan hacer que los organismos de regulación económica dicten también regulaciones sobre la prevención de monopolios. En esta breve historia de la industria de pulpa y papel en América del Sur, uno podría esperar estudios más detallados que aborden estos temas, así como la evaluación de diferentes tipos de impacto de las operaciones de las empresas y sobre toda la ecología de la propia industria.

Apéndice 1: Instituciones de investigación con potencial aplicación en la industria forestal de Chile

Instituciones de Educación e Investigación	Líneas de investigación
<p>INFOR Otras (INIA)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mitigación y adaptación al cambio climático - Bioenergía - Inventario y monitoreo de recursos forestales - Recuperación y manejo forestal - Productividad y diversificación de las plantaciones forestales - Tecnología e industria de la madera - Cultivo de bosques y biotecnología - Sistemas silvoculturales - Producción y establecimiento vegetal - Los productos forestales no maderables - Medio ambiente y servicios ambientales - Información silvicultural y análisis económico
<p>Bioforest S.A. Forestal Mininco Others</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Productividad del sitio - Gestión de plantaciones - Propiedades de la madera - Mejoramiento genético de <i>Pinus radiata</i> y <i>Eucalyptus globulus</i> - Protección fitosanitaria
<p>Fundación Chile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bosques y ecosistemas - Carbono, productos y servicios - Desarrollo y cambio climático - La certificación ambiental - Construcción de madera y agregado de valor

Instituciones de Educación e Investigación	Líneas de investigación
<p>Universidad de Chile</p> <p>Universidad Austral</p> <p>Universidad Católica de Chile</p> <p>Universidad Católica de Temuco</p> <p>Universidad Católica de Maule</p> <p>Universidad de Concepción</p> <p>Universidad de la Frontera</p> <p>Universidad de Talca</p> <p>Universidad del Bío Bío</p> <p>Universidad Mayor</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Gestión y cosecha - Gestión de Procesos - Silvicultura - Ecología - Propiedad de madera, biodeterioro y preservación - Aplicaciones de madera - Inventario y Sistemas de Geoposicionamiento (GIS) - Simulación - Silvicultura urbana - Productos - Genética - Medio ambiente - Ergonomía - Desarrollo rural - Generación de recursos - Suelos - Aplicación de químicos en la madera - Otros

Fuente: Basado en Carmona y Garretón (2004), Fundación Chile (2011)

Referencias

- ABTCP (2004) The history of the pulp and paper industry in Brazil. Associação Brasileira Técnica de Papel e Celulose (ABTCP), São Paulo.
- ABTCP (2008) Panorama do Setor: Linha do tempo. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP). <http://abtcp.org.br/Pagina.aspx?IdSecao=100,103> . Accessed 19 Jan 2012
- Borregaard, N.; Dufey, A.; Winchester, L. (2008) Effects of foreign investment versus domestic investment on the forestry sector in Latin America (Chile and Brazil) – demystifying FDI effects related to the environment. Working Group on Development and Environment in the Americas, Discussion Paper Number 15. http://ase.tufts.edu/gdae/Pubs/rp/DP15Borregaard_Dufey_WinchesterApr08.pdf . Accessed 11 Nov 2010
- BRACELPA (2011) Relatório Florestal 2010–2011. Associação Brasileira de Celulose e Papel, São Paulo. http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/public/RA02-RelatorioFlorestal_2010.pdf . Accessed 17 Nov 2011
- Calderón A (2007) “Outward Foreign Direct Investment by Enterprises from Chile.” In: Global players from emerging markets: Strengthening enterprise competitiveness through outward investment, pp 37-47. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), New York and Geneva.
- Carmona, R.I.; Garretón, A.S. (2004) La Investigación Forestal en Chile. Power-Point presentation. Chile
- Catalán P; Cozzens, S. (2009) Technology diffusion dynamics: The case of Chile’s forestry industry. In: Globelics 7th international conference 2009. Globelics, Dakar. From 6 to 8 October 2009
- CENIBRA (2011) Fomento Florestal. <http://www.cenibra.com.br/cenibra/ProcessoFlorestal/FormacaodeFlorestas/FomentoFlorestal.aspx?&codigo=divFilhos6.1&familia=5&nivel=3&item=2> . Accessed 18 Sept 2011
- CMPC (2010) Memoria Anual 09. Memoria Financeira Anual 2009. Empresas CMPC. <http://www.cmpc.cl/wp-content/uploads/2010/04/Memoria-Anual-CMPC-2009.pdf> . Accessed 13 Apr 2011
- CMPC (2011) Memorial Anual 2011. <http://www.cmpccelulosa.cl/CMPCCELULOSA/archivos/file/CMPC-MEMORIA-2011-es.pdf> . Accessed 27 Sept 2012
- CONAF (2011) <http://www.conaf.cl/> . Various linked sources. Accessed: various dates in year 2011. Corporación Nacional Forestal (CONAF). Chile.

- Donoso P.J.; Otero L.A. (2005) Hacia una de finición de país forestal: ¿Dónde se sitúa Chile? Bosque (Valdivia), Valdivia, v. 26,n. 3,p. 5-18, dic. 2005 . Disponible en <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002005000300002&lng=es&nrm=iso>. accedido en 07 oct. 2016. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002005000300002>.
- TRADEMARK ENCYCLOPEDIA Empresas CMPC S.A. in: Encyclopedia of Business Reference for business. <http://www.referenceforbusiness.com/history/De-En/Empresas-CMPC-S-A.html> . Accessed 13 Jan 2011
- FANAPEL (2011) <http://www.fanapel.com.uy/home/intro.asp> . Accessed 6 Sept 2011
- FAO (2009) State of the world's forests 2009. United Nations Food and Agriculture Organization,Rome. <http://www.fao.org/docrep/011/i0350e/i0350e00.htm> . Accessed 19 Feb 2011
- Fazio, H. (1997) Mapa Actual de la Extrema Riqueza en Chile. Colección Sin Norte / Punto de Fuga. ARCIS Universidad/LOM Ediciones/CENDA, Chile
- Fazio, H. (2000) La Transnacionalización de la economía Chilena – Mapa de la extrema riqueza al año 2000. Colección Sin Norte / Cs. Sociales. LOM Ediciones, Santiago
- Foelkel, C. (2008) The world of eucalyptus: Uruguay. Eucalyptus Online Book & Newsletter. October 2008 N. 17 http://www.eucalyptus.com.br/newseng_oct08.html#tres . Accessed 20 Sept 2009
- FUNDACIÓN CHILE (2011) <http://www.fundacionchile.com/> . Accessed 6 Sept 2011
- Herbert-Copley, B. (1998) Innovation, regulation and environmental management in the Chilean and Canadian pulp and paper industries. Doctoral thesis, Department of Political Science, Carleton University, Ottawa, Ontario.
- INDUSTRIA PAPELERA URUGUAYA S.A. (2011) <http://www.ipusa.com.uy/> . Accessed 6 Sept 2011
- INFOR (2011) <http://www.infor.cl/> . Various linked sources. Instituto Forestal de Chile (INFOR). Accessed: various dates in year 2011
- IPT (1999) 100 Anos de tecnologia: 1899–1999. Instituto de Pesquisas Tecnológicasdo Estado de São Paulo (IPT), São Paulo
- Katz, J.; Stumpo, G, Varela, F. (2003) El Complejo forestal Chileno. in: El desarrollo de complejos forestales en América Latina. Bercovch, N.; Katz, J. (eds). División de desarrollo productivo y empresarial. CEPAL, Santiago
- Kerosky, S. (2007) Chile's senate passes native forest Law. The Santiago Times (Santiago, 19 August 2007). <http://www.worldpress.org/Americas/2904.cfm#down>. Accessed 27 July 2011

- Kosonen, G. (2008). Pulp and friction: Engaging with stakeholders (Master's Thesis of the Faculty of International Business. Helsinki: Publications of the Helsinki School of Economics).
- Lima-Toivanen, M. B. (2012) The South American Pulp and Paper Industry: The Cases Brazil, Chile, and Uruguay. In: J.-A. Lamberg et al. (eds.), *The Evolution of Global Paper Industry 1800–2050: A Comparative Analysis*, World Forests, Dordrecht Springer
- Lima-Toivanen, M. B.; Mikkilä, M. (2006) Stronger demands over newcomers in Latin American businesses: the case of the pulp mills in Uruguay. Paper presented at the international conference: Civil Society and Environmental Conflict: public participation and regulation. Finnish Environment Institute (SYKE), Helsinki, Finland. 17th November 2006. <http://www.environment.fi/download.asp?contentid=60456&lan=en>
- Luraschi, M. (2007) Análisis de la cadena productiva de la celulosa y el papel a la luz de los objetivos de desarrollo sostenible: estudio del caso de Chile. Documento de proyecto. Chile, Diciembre: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)
- Montes, G.; Ardila, S.; Machado, K.; Frigerio, G.; Echegaray, A.; Lois, F.; Gaggero, R.; Chávez, E. (2008) Chile: program to strengthen CONAF's management capacity . Loan proposal. Inter-American Development Bank
- Morales, E. (2003) Changing ownership and management of state forest plantations: Chile. International Institute for Environment and Development
- NORSKE SKOG (2011) Norske Skog Bio Bío. <http://www.norskeskog.com/Units/South-America/Norske-Skog-Bio-Bio.aspx> . Accessed 10 Nov 2011
- PAMER (2011) <http://www.pamer.com.uy/>. Accessed 6 Sept 2011
- Polla, M.C. (1998) El Proceso de Desarrollo forestal y agroforestal en el Uruguay. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO: El Manejo Sustentable de los Recursos Forestales – Desafío del Siglo XXI. Valdivia, Chile. Noviembre. <http://www.mgap.gub.uy/Forestal/EL%20Proceso%20Desarr%20Forestal%20y%20Agroforestal%20en%20ROU.pdf>. Accessed 21 Dec 2010
- PÖYRY (2011) Estudo de impacto ambiental – EIA/RIMA da Expansão da Unidade Industrial. Relatório de impacto ambiental. Pöyry Tecnologia Ltd, São Paulo Pöyry (2012). Pöyry quarterly pulp and paper project listings. In: Pöyry multclient studies. Access by subscription
- RED (2006) Comentarios de la Red Uruguay de ONGs Ambientalistas (Red) al Estudio de impactos acumulativos de la instalación de plantas de celulosa en Fray Bentos, realizado por la Corporación Financiera Internacional (BM). Febrero de 2006 Red Uruguay de ONGs Ambientalistas del Uruguay, Montevideo. <http://www.uruguayambiental.com/articulos/RedUruOngAmbCelulosa.pdf> . Accessed 4 May 2006

- RISI INFO (2006) Mill intelligence: mill project database. Available for subscribers at <http://www.risiinfo.com>
- RISI INFO (2009) Statistical data, pulp and paper industry Latin America. . Available for subscribers at <http://www.risiinfo.com>
- Rodríguez, J.; Catalán, P.; Moreno, C.; Cozzens, S.; Acuna, F.; Borgeaud, M. (2008) Impactos de Sistemas de Innovación Sectoriales (SIS) en procesos de difusión tecnológica: El caso de la industria forestal. Informe Final. Centro de Biotecnología Universidad de Concepción and Technology Policy Assessment Center. Georgia Institute of Technology, Atlanta
- Rotman, E. (1976) Notes on Chilean environmental law. In: Prieto IC, Necedal R (eds) Legal protection of the environment in developing countries. Colloquium of the International Association of Legal Science. Universidad Nacional Autónoma de México. Biblioteca Jurídica Virtual, pp 359–362. <http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/2/679/1.pdf>. Accessed 29 Jan 2012
- Spetic, W.C. (2009) Competitiveness and sustainability: perspectives from the secondary wood industry of British Columbia, the forest industries of New Zealand, Chile, and Brazil, and the sugarcane-based ethanol industry of Brazil. Doctoral Dissertation, THE FACULTY OF GRADUATE STUDIES. British Columbia University
- Toivanen, H.; Lima-Toivanen, M.B. (2009) Learning and global industry dynamics: the emergence of Brazilian pulp and paper industry. In: Malerba F, Mani S (Orgs) Sectoral systems of innovation and production in developing countries: actors, structure and evolution. Edward Elgar, Northampton, pp 99–130
- Toivanen, H.; Lima-Toivanen, M.B. (2011) Innovation and the emergence of the Brazilian pulp and paper sector. *O Papel*, Vol. 72, N. 4, pp. 65-71
- WWF (2005) WWF international assessment mission for the Carlos Anwandter Nature Sanctuary and CELCO pulp mill controversy in Valdivia, Chile. Findings and recommendations report. World Wide Fund for Nature, November 2005
- YLE (2011) Stora Enso sai ympäristöluvan Uruguaysta. *Uutiset*. Talous ja politiikka. 1 June 2011. http://yle.fi/uutiset/talous_ja_politiikka/2011/01/stora_enso_sai_ymparistoluvan_uruguaysta_2271071.html. Accessed 3 July 2011

XI

DA NÃO IMITAÇÃO À INOVAÇÃO E À PERFORMANCE COMPETITIVA: ALGUMAS EVIDENCIAS DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL

Paulo N. Figueiredo

Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas (EBAPE)
da Fundação Getulio Vargas (FGV)

Introdução

O objetivo deste capítulo é apresentar uma breve narrativa sobre trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas e seus impactos em performance competitiva em nível internacional, na indústria brasileira de celulose e papel. Embora existam estudos sobre essas questões (por exemplo, Figueiredo, 2010, 2014), este capítulo explora algumas nuances qualitativas do processo de desenvolvimento de capacidades tecnológicas e suas implicações para o alcance de performance competitiva. Essas questões são examinadas ao longo do período de 1950 a 2013, cobrindo assim diferentes modelos industriais no Brasil: do modelo de substituições de importações (da década de 1950 à de 1980) ao modelo de economia aberta e competição globalizada a partir da década de 1990.

Em 2012, o Brasil tornou-se o quarto maior produtor de celulose, o maior produtor mundial de celulose de eucalipto ('eucapulp') e o nono produtor mundial de papel. A totalidade da celulose e do papel produzidos no Brasil deriva de florestas plantadas, as quais são recursos renováveis. O Brasil em 2,2 milhões de hectares de florestas totalmente certificadas para uso industrial. Em 2012, o faturamento total da indústria de celulose e papel no Brasil foi de aproximadamente US\$17 bilhões. O valor das exportações foi de cerca de US\$7,3 bilhões, um superávit comercial de US\$5.1 bilhões. Em 2012 a indústria de celulose e papel no Brasil gerou cerca de 128,000 empregos diretos e 575,000 indiretos, e pagamento

de impostos de US\$1,75 bilhões. De 1970 a 2012, a produção brasileira de celulose e papel cresceu a uma taxa média anual de 6,8% e 5,4%, respectivamente. Durante o mesmo período, as exportações brasileiras de celulose e papel cresceram a uma taxa média anual de 13,6% e 18,8%, respectivamente, enquanto que o valor das exportações cresceu a uma média anual de 17,3% (celulose) e 22,7% (papel). Embora existam cerca de 220 empresas de celulose e papel no Brasil, seis grandes empresas respondem por cerca de 85% da produção de celulose e cerca de 55% da produção de papel, e possuem suas próprias florestas. A alta concentração da produção em um pequeno número de empresas justifica-se pelo alto volume de investimentos envolvidos em atividades relacionadas a reflorestamento e à intensidade e larga escala das atividades de processo de manufatura (Bracelpa, 2011). O restante desse capítulo está organizado da seguinte maneira. A Seção 2 descreve as principais características e fases do processo de acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras na indústria brasileira de celulose e papel. A Seção apresenta concisamente alguns dos benefícios gerados pela acumulação de capacidades tecnológicas para a performance competitiva dessa indústria. Por fim, a Seção 3 contém as conclusões e algumas implicações para gestão empresarial e políticas públicas.

2. Acumulação de Capacidades Tecnológicas na Indústria brasileira de Celulose e de Papel

2.1 Principais Características do Processo de Acumulação de Capacidades Tecnológicas Inovadoras

Em contraste com estudos anteriores sobre o desenvolvimento da capacidade inovadora em empresas de economias emergentes, os casos examinados aqui não seguem a tradicional trajetória *de imitação para níveis sofisticados de inovação*, ou seja, uma trajetória baseada na acumulação progressiva de capacidades mais desenvolvidas a partir da adaptação do processo de produção, passando por uma imitação repetitiva até chegar a inovações resultantes de pesquisa e desenvolvimento. Devido a várias restrições, as empresas não poderiam simplesmente copiar os líderes globais, mas acabaram sendo forçadas a desenvolver tecnologias mais adequadas às suas próprias operações, em geral um tanto diferentes. Esse desenvolvimento envolveu a utilização de matérias-primas diferentes (polpa de eucalipto) e uma maneira eficaz de processá-las. As empresas viram-se obrigadas a promover inovações a jusante em seus processos de produção de celulose e papel devido às

inovações introduzidas a montante em suas práticas florestais. Tais empresas, portanto, não poderiam simplesmente *imitar*, pois estavam desenvolvendo uma rota diferente; assim, o processo de acumulação de capacidades pode ser resumido da seguinte forma: *partindo da não imitação para a inovação em nível mundial*. Consequentemente, a maioria das empresas estudadas aqui (Aracruz/VCP, Klabin, Suzano e Rigesa) acumulou capacidades inovadoras tecnológica inovadora de ponta, em nível mundial, para diferentes atividades tecnológicas.

As empresas pesquisadas acumularam capacidades inovadoras que eventualmente as transformou em líderes mundiais em um segmento particular da indústria de celulose e papel, ou seja, no segmento de fibra curta (eucalipto). Tal descoberta se revela consistente com trabalhos anteriores, relatando que empresas de economias emergentes, que entraram mais tarde em outros mercados, alcançaram posições de liderança tecnológica na vanguarda da inovação internacional. Ao invés de iniciarem acumulando capacidades no processo produtivo e então se dedicarem à acumulação progressiva de capacidades inovadoras (partindo de adaptações até chegar a inovações baseadas em pesquisa e desenvolvimento), como está documentado na literatura, essas empresas acumularam capacidades inovadoras que lhes permitiram seguir uma *direção* de desenvolvimento tecnológico diferente das anteriormente tomadas pelos líderes globais do setor. Seu processo de acumulação de capacidades inovadoras envolveu uma *descontinuidade qualitativa* da trajetória tecnológica estabelecida, logo no início de seu processo de desenvolvimento de suas capacidades tecnológica. Tal fenômeno é raramente documentado na literatura sobre o assunto. Além disso, em contraste com a maioria dos trabalhos sobre acumulação de capacidades tecnológicas, que enfocam as chamadas indústrias de “alta tecnologia” (ex. eletrônica), o estudo analisou a questão em empresas voltadas a recursos naturais, dificilmente encontradas na literatura, apesar de sua importância para as economias de seus países, embora existam algumas exceções. A subseção detalha descreve alguns detalhes desse processo de acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras ao longo de fases específicas.

2.2 Principais fases do processo de acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras

Esta seção descreve, de maneira muito concisa, as principais fases do processo de desenvolvimento de capacidades tecnológicas na indústria de celulose e papel no Brasil ao longo das décadas de 1920s a 2010s. A Seção 2.2.1, no entanto, apresenta alguns dos fatores que estimularam surgimento e estruturação dessa industrial no Brasil

2.2.1 Alguns fatores de estímulo ao surgimento da indústria no Brasil (1808-1910)

Em 1550 eficientes fábricas de papel tinham se espalhado através de Europa e em 1690 os EUA tinham alcançado a Alemanha, a Grã-Bretanha e a França no progresso técnico da fabricação de papel. Entretanto, no Brasil de industrialização tardia, não foi até 1810, seguindo a chegada da família real portuguesa, que os primeiros negócios da fabricação de papel começaram a surgir. Estes, entretanto, foram insustentáveis. Para atender a uma demanda sem precedentes para a impressão de documentos oficiais, dinheiro e jornais, as primeiras fábricas produziram papel de fibras de arbustos e bananas, linhas e roupas baseadas em máquinas importadas da França. Entretanto, em 1885, todas essas fábricas foram fechadas. Elas eram incapazes de competir contra o papel importado em termos de custo e qualidade, porque faltavam trabalhadores qualificados e equipamento e processos eficientes.

De modo a estimular o surgimento de empresas locais para atender uma demanda crescente, em 1886, o governo ofereceu incentivos financeiros aos potenciais fabricantes de papel. Houve duas iniciativas bem-sucedidas. Uma delas foi a empresa Melhoramentos, que tinha surgido em 1890 como produtora de cal e de tijolos. Na década de 1900, seus proprietários, três irmãos imigrantes empreendedores, provavelmente identificando boas oportunidades de negócio, mudaram para a fabricação de papel, impressão e publicação. De 1870 a 1880, outras empresas começaram a atender a demanda crescente para o papel derivada da crescente chegada de imigrantes: de 6.500 (1885) a 91.826 (1888).

Por causa das mudanças sociais e econômicas causadas pela Proclamação da República (1889), a demanda para o papel tornou-se mais elevada (p. ex., para a impressão de novos documentos oficiais e comerciais). Em 1907, aproximadamente 17 empresas de papel operaram no Brasil, mas em pequena escala. Havia uma demanda crescente para a madeira de fibra longa e, como a Primeira Grande Guerra se aproximava, o fornecimento se tornou limitado e os preços internacionais se elevaram, levantando uma séria barreira ao crescimento econômico do Brasil. A dependência da celulose estrangeira marcaria as indústrias de celulose e de papel no Brasil deste estágio inicial até os anos de 1960.

2.2.2 Início da Produção em Larga Escala e a Política Informal de Substituição de Importações (SI) (1920-1940)

Apenas em meados dos anos de 1920 é que as fábricas de larga escala de celulose e de papel começaram a aparecer em Brasil. Respondendo às restrições advinda da guerra, novas empresas foram criadas por investidores locais, a

maioria deles empreendedores de famílias imigrantes que tinham tido experiências prévias em serrarias, negócios de impressão, comércio de papel, importação de artigos de papelaria. Em 1925, o número de empresas locais de papel tinha aumentado de 17 para 23. Em 1925, a Melhoramentos experimentou a produção de celulose química sulfito, de sua própria floresta de pinheiros de *Araucaria angustifolia* ou “pinheiro-do-brasil”.

Como os proprietários de empresas de papel começaram a organizar o setor, igualmente procuraram influenciar a política do governo. Em 1925, proprietários brasileiros de empresas de papel transformaram o Centro Nacional de Produtores de Papel na Federação de Fabricantes de Papel, que, em 1944, se transformou na Associação Nacional de Fabricantes de Celulose e de Papel (ANFCP). Em 1938, a Confederação Nacional da Indústria Brasileira foi criada para representar os interesses das indústrias emergentes do Brasil, entre eles os dos produtores de papel, especialmente com relação às políticas governamentais.

Apesar das limitações às importações, houve grandes importações de papel no Brasil, devido às reduções de impostos. As importações indiscriminadas e o aumento nos preços da celulose foram considerados pelos fabricantes brasileiros de papel como obstáculos sérios para desenvolver uma indústria de papel local. Respondendo às exigências dos fabricantes de papel, o governo do presidente Arthur Bernardes (1922-26) suspendeu os benefícios fiscais para as importações de papel. Como resultado, a participação do papel importado no mercado local diminuiu de 58,3% (1919) para 37,5% (1939). Em 1946, o papel produzido localmente respondeu para aproximadamente 60% do consumo doméstico.

Tais medidas fizeram com que a indústria de papel fosse o único dos sete setores industriais no Brasil salvo dos impactos negativos da crise financeira de 1929. De 1929 a 1932, o setor de papel cresceu 0,8% em média anualmente. Consistentes taxas de crescimento continuaram durante o período 1933-39. Algumas empresas começaram a responder ao crescimento da demanda se engajando em diversas atividades de produção. Em 1927, a Melhoramentos, pioneira na produção de papel sanitário no Brasil através do licenciamento da tecnologia da firma americana Scott Paper Co., a qual tinha, em 1890, iniciado a fabricação e a comercialização de papéis higiênicos nos rolos.

Procurando fazer papéis sanitários populares no Brasil, especialmente para a população de baixa renda, a Melhoramentos se empenhou em uma campanha de marketing de âmbito nacional que superasse o ceticismo dos clientes iniciais e fosse bem-sucedida em assegurar uma demanda do produto no Brasil. O novo produto permaneceu no mercado por quase 60 anos. Mais tarde, a empresa produziu folhas de papel absorvente para barbearias e, em 1936, introduziram as

toalhas de papéis para o uso geral. Isto marcou a constituição inicial das capacidades de produção de papel no Brasil.

Depois da crise financeira mundial de 1929, e o receio de impactos negativos fatais para a indústria de papel local, os fabricantes de papel brasileiros começaram a persuadir o governo para proibir as importações de máquinas e equipamentos para novas plantas nas indústrias que apresentavam uma capacidade excessiva no Brasil (p. ex., têxteis, cabanas, calçados, açúcar, fósforos e papel). Apesar das rápidas taxas de crescimento da indústria de papel no Brasil, no final dos anos de 1930 a participação de matérias-primas locais na indústria de papel local era tão baixa quanto 3%. Depois do começo da Segunda Grande Guerra, os preços internacionais da celulose e do papel-imprensa aumentaram dramaticamente e os fornecimentos tornaram-se ainda mais instáveis. Tais vicissitudes desafiaram o governo e a indústria de papel local do Brasil a procurar novas fontes de insumos de produção. Entretanto, não foi até os anos de 1950 que uma solução começaria a aparecer.

No final dos anos de 1930, as importações brasileiras de celulose e de papel-imprensa moveram-se da Finlândia, Noruega e Suécia para os EUA. Em 1938, essas importações dos EUA atingiram 2,4 toneladas e superaram 32,3 toneladas em 1940. As restrições causadas pela SGG e uma pesada dependência de matérias-primas importadas e de bens de capital estimularam o governo de Getulio Vargas (1930-1945) a implementar medidas que marcaram o início, embora não formal, do protecionismo e da política de substituições de importações (SI). Em 1937, o Plano Especial de Obras Públicas e Defesa Nacional tornaram explícito o suporte do governo federal ao desenvolvimento de indústrias de base (p. ex., bens de capital, óleo, aço e celulose e papel). Havia dois grandes tipos de medidas.

Primeiramente, no final dos anos de 1930, preocupados com o fornecimento instável de papel-imprensa, o aumento internacional de preços, e a necessidade de disseminar notícias para alcançar a integração através de um país tão extenso, o governo procurou estimular empreendedores a investir na produção local de papel-imprensa. Uma oferta foi feita à Klabin, um empreendedor que vinha realizando negócios na produção florestal de pinheiros desde 1899 no sul do Brasil e estava interessado em começar uma fábrica de papel. O governo forneceu o financiamento, o mercado e estradas de ferro livres. Como sugerido pelas consultas em arquivos, identificando a oportunidade para um investimento lucrativo, a empresa Klabin (pesquisada aqui) optou pela construção de uma grande fábrica integrada de celulose e de papel. A construção começou em 1942 e a fábrica iniciou a operação em 1946. A Klabin tornou-se então o maior produtor de papel-imprensa do Brasil baseado na celulose das florestas plantadas

de pinheiro (*Araucaria angustifolia*). A experiência da Klabin mostrou que era possível combinar a produção de celulose de boa qualidade e a produção de papel derivado de um sistemático reflorestamento evitando, assim, a exploração de florestas naturais.

Em segundo lugar, nos anos de 1940, em consequência da segunda grande guerra, o fornecimento de celulose para as máquinas de papel locais tinha se tornado um sério problema. As empresas como a Suzano foram forçadas a misturar papel (aparas) e celulose virgem de pinheiros com o pouco que conseguiam importar para alimentar suas máquinas. Tais restrições acenderam as ambições do governo brasileiro — e alguns empreendedores locais — para reduzir a pesada dependência do Brasil da celulose estrangeira.

Como resultado, em 1940, a administração de Getúlio Vargas emitiu um decreto que promovia incentivos do governo para a produção local de celulose. Um dos desafios principais naquele momento era escolher, entre plantas nativas existentes, as fibras apropriadas para produzir a celulose para o papel (p. ex., agave, bambu, palha do arroz e bananeira). Isto incluiu o financiamento, a baixas taxas de juros, aos proprietários das florestas objetivando construir fábricas para produzir a celulose química e mecânica. Para obter tais incentivos, as empresas tiveram que cumprir com exigências específicas: as fábricas tinham que ter suas próprias fontes de água; estar estabelecidas perto de áreas densamente povoadas; as águas usadas nas fábricas tinham que ser tratadas antes de serem descarregadas em lugares onde nenhum dano fosse causado (embora isto não estivesse claro) e a madeira deveria ser obtida de florestas plantadas. Entretanto, tais medidas não conduziram a matérias-primas alternativas viáveis.

Apesar das vastas áreas florestais e dos incentivos do governo para o reflorestamento e a construção de plantas dedicadas à produção de celulose, os custos de transporte e as barreiras logísticas eram um problema para expandir os setores de celulose e de papel durante os anos de 1940. Mesmo assim, estimulado pela política de SI do governo Vargas, pelo limitado fornecimento estrangeiro derivado da SGG e por uma demanda nacional crescente, o número de fábricas de celulose e de papel evoluiu de 54 em 1940 para 117 em 1950. Em 1941, a empresa Suzano iniciou a partir da iniciativa de um imigrante empreendedor, o Sr. Leon Feffer. As consultas aos arquivos da empresa e as entrevistas realizadas sugeriram que, a despeito de todas aquelas barreiras, mas desenvolvendo um fino sentido empreendedor e aproveitando as oportunidades promissoras, ele apostou no crescimento futuro da indústria de papel do Brasil e investiu todas suas economias — mesmo a sua própria casa — na produção de papel em grande escala.

Adicionalmente, em meados dos anos de 1940, havia uma proliferação de

empresas dedicadas à construção de máquinas para produção de celulose e de papel (p. ex., desfibradoras de polpa mecânica). Em 1942, a primeira máquina de produção de papel foi construída localmente, com desenho da empresa Britânica Millspaugh Ltd. No início dos anos de 1950, uma empresa sozinha fez e vendeu 47 máquinas desfibradoras. Adicionalmente, durante os anos de 1940, outros tipos de empresas começaram a surgir para fornecer insumos de produção e componentes para a indústria local de celulose e de papel: soda cáustica (hidróxido de sódio), cloro, ligas baseadas no cobre, estanho e fósforo para o refinamento de papel, feltros, lona metálica, cortadores e facas, entre outros.

Como o equipamento não poderia ser importado, alguns empreendedores imigrantes procuraram projetar e replicar suas próprias máquinas baseados no seu conhecimento usado para operar em seus (antigos) países de origem. Assim é que encomendaram partes e componentes das empresas metalúrgicas locais e construíram máquinas inteiras. Por exemplo, duas empresas surgiram como produtoras de feltro bem-sucedidas no início dos anos de 1940. Uma delas, de propriedade de um empreendedor, o Sr. Weit, transformou-se num fornecedor e um exportador bem-sucedido de feltros construindo suas próprias máquinas projetadas a partir de seu conhecimento da fabricação de papel na Alemanha.

2.2.3 Início da Nova Trajetória Tecnológicas e Intensificação da Política de SI (1950-1960)

O governo do presidente Juscelino Kubitschek (JK), que se iniciou em 1956, intensificou a política de SI, mas combinada com a atração de investimentos diretos estrangeiros (IDE). Uma forte ênfase foi dada ao progresso industrial através do seu “Plano de Metas”, implementado através do recém-criado Conselho Nacional de Desenvolvimento. Trinta e dois setores industriais foram selecionados para receber financiamento para investimentos, entre eles o setor de celulose e de papel. Para cada setor industrial havia um grupo executivo para políticas específicas do setor. Em 1952, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE) foi criado e tornou-se uma instituição-chave para suportar investimentos na infraestrutura do país, na expansão industrial e nos esforços tecnológicos no nível da firma, especialmente em celulose e papel.

Até o final dos anos de 1950, as indústrias de celulose e de papel no Brasil seguiram trajetórias tecnológicas que tinham sido estabelecidas até aqui pelas principais empresas do mundo em países do Norscan. Todas as tecnologias de processo de produção, métodos e equipamentos de processo e sistemas foram baseados em celulose de fibra longa. As restrições que tinham sido impostas pela Segunda Grande Guerra e pela pesada dependência da celulose estrangeira ator-

mentou o governo brasileiro e, especialmente, os empreendedores da indústria. Em meados dos anos de 1950, as buscas sistemáticas por fontes alternativas de celulose para a fabricação de papel foram estimuladas e economicamente exploradas (p. ex., eucalipto e bagaço da cana de açúcar). O eucalipto apareceu como a melhor alternativa. A escolha do Brasil para o eucalipto derivou-se de uma série de esforços persistentes de busca conduzidos por indivíduos e por empresas empreendedores que começaram no início dos anos de 1900, conforme descrito a seguir.

O eucalipto foi trazido para o Brasil da Austrália entre 1855 e 1870, principalmente pela Companhia Estrada de Ferro São Paulo. O objetivo preliminar era usá-lo para construir pontes e, principalmente, dormentes e combustíveis para locomotivas. Em 1904, o cientista, Sr. Navarro de Andrade foi contratado por esta companhia para procurar o melhor tipo de árvore para fornecer o carvão para locomotivas e madeira para os dormentes da estrada de ferro. Comparando diversas espécies nativas e exóticas e buscando as propriedades de mais de 150 espécies de eucalipto que tinha trazido da Austrália, seus resultados indicaram que o eucalipto seria uma alternativa praticável, não somente para o carvão e os dormentes, mas também para o reflorestamento das parcelas destruídas de florestas nativas.

Conduzido pelos resultados de suas experiências e pelos atributos distintos desta árvore, no início dos anos de 1920 viajou aos EUA para pesquisar a potencialidade do eucalipto como insumo para a celulose e o papel. Suas experiências foram realizadas no Laboratório de Produtos Florestais de Madison. Seus resultados desafiaram a sabedoria até então comum que o papel feito de fibra curta (folhosa) não resistiria à pressão dos rolos nas máquinas de papel e em impressoras dos jornais. Entretanto, seus esforços e resultados científicos não foram suficientes para convencer acionistas de grandes projetos de fabricação no Brasil da exequibilidade econômica do eucalipto como uma fonte alternativa viável de celulose. Havia somente iniciativas em pequena escala, isoladas e intermitentes, como a companhia Gordinho Braune que, em 1927, começou a produzir celulose branqueada através do processo de sulfito baseado no pinheiro e no eucalipto.

Todavia, nos anos de 1940, enfrentando as limitações da Segunda Grande Guerra e de outros fatores externos, diversos líderes de negócio começaram uma campanha informal pela autossuficiência em celulose no Brasil para livrar o país da instabilidade cíclica que ameaçava o crescimento das indústrias de celulose e papel e o desenvolvimento industrial. Em 1946, a empresa Melhoramentos tinha conseguido resultados positivos consistentes (a superfície e a opacidade de papel) da polpa do eucalipto para fazer o papel sanitário. Baseado em tais resultados, a alta gerência da empresa decidiu substituir a polpa importada de álamo (*Populus sp*) pela do eucalipto. Adicionalmente, a Guerra da Coréia (no início dos anos de 1950) con-

tribuiu para aumentar os preços da celulose em 159% no mercado internacional. A partir de 1950, a Melhoramentos intensificou suas atividades de pesquisa a fim obter uma celulose branqueada de eucalipto melhorada.

De fato, no início dos anos de 1950, o eucalipto tornou-se mais barato, enquanto as locomotivas foram convertidas em diesel e pararam de usá-lo como a madeira em suas caldeiras. Isto igualmente estimulou novos esforços de pesquisa tais como aquelas realizadas pela empresa Suzano. Ao retornar dos EUA, o filho mais velho do fundador da Suzano, Sr. Max Feffer, se empenhou em busca para soluções do problema da matéria-prima. Sua tarefa foi continuar a pesquisa realizando experiências com fibras do algodão, sisal, juta, agave e bambu. Naquele tempo, os laboratórios estrangeiros já estavam produzindo a celulose de eucalipto. Entretanto, a literatura científica existente ainda classificava tal matéria-prima como imprópria para a impressão e a fabricação de papel de escritório. O Sr. Max Feffer procurou desafiar tais resultados. Os resultados de suas experiências iniciais foram infrutíferos. Ele persistiu, embora, com sua investigação nos laboratórios da Universidade da Flórida em Gainesville, EUA (1955-1962). Após o sexto ano, sua pesquisa eventualmente confirmou que era possível obter papel de qualidade com 100% de celulose de eucalipto. Em 1962, o produto novo começou a ser produzido, em uma grande escala, na nova fábrica da Suzano no município de Suzano (estado de São Paulo).

Em 1962, a Suzano tinha produzido, pela primeira vez no Brasil, 120 toneladas/dia de fibra curta (eucalipto). Devido ao fato de o fornecimento de celulose ser mais elevado do que a demanda local, a Suzano teve que comprar uma empresa de papel para consumir sua celulose produzida. Como os usuários começaram a confiar no produto, a demanda compensou logo o fornecimento. Seguindo as iniciativas bem-sucedidas pela Melhoramentos e pela Suzano, outras empresas brasileiras começaram a melhorar seus processos sulfato para produzir o papel de fibra curta (eucalipto). Ao final dos anos de 1950, o eucalipto começou a ser usado como insumo nas indústrias de celulose e de papel no Brasil. Contudo, até a década de 1960 o eucalipto era visto como uma fibra secundária.

Não obstante, tais realizações, e os novos produtos de papel que saíram dos rolos e das resmas de grandes empresas como Melhoramentos e Suzano, marcaram o começo de um claro deslocamento no sentido da acumulação da capacidade na indústria de celulose e de papel no Brasil. Colocando de outra forma, isto significou uma partida qualitativa da trajetória tecnológica em celulose e papel conduzida até aqui por empresas em países da Norscan. Entretanto, a consolidação deste deslocamento em uma trajetória tecnológica qualitativa variante envolveria esforços muito maiores na construção da capacidade inovadora durante os anos de 1970 e, especialmente, nos anos de 1990, como mostrado mais adiante.

A evidência sugere que do início dos anos de 1950 a início dos anos de 1960, algumas empresas de papel como a Melhoramentos, Klabin e Rigesa (todas pesquisadas aqui) deram início a uma sistemática constituição de suas capacidades baseadas em produção, especialmente para processo e organização da produção e atividades centradas em produto (Nível 1). Paralelamente, elas se envolveram em algumas atividades básicas inovadoras com base na imitação de processo e produto, atividades de experimentação e de adaptação. Empresas como a Melhoramentos desenvolveram experiências bem-sucedidas conduzindo à adição de fios de algodão à celulose de madeira a fim de melhorar a maciez e a qualidade de papéis sanitários. Mais tarde, isto modificou a maneira tradicional de fabricar as toalhas de papel adicionando pequenas quantidades de material plástico que, após ser aquecido, agiam como cola para ligar as fibras de papel. A aplicação bem-sucedida desta mistura permitiu experiências adicionais para usar esta mistura para produzir o papel descartável para a roupa de hospital. A Melhoramentos continuou a melhorar suas linhas de produtos e, em 1965, introduziu o primeiro papel de tecido modelado, uma novidade no mercado brasileiro.

2.2.4 Desenvolvimento da Trajetória Tecnológica Variante e Estágios Finais da Política de SI (1960-1980)

A partir de 1967, seguindo um estudo patrocinado pelo BNDE, as empresas de celulose e de papel tiveram que cumprir com condições específicas para candidatar-se ao financiamento: (i) alcançar metas de volume de produção (100 toneladas/dia para celulose e 50 toneladas/dia para o papel); (ii) introduzir técnicas atualizadas da organização e gerenciamento da produção; (iii) introduzir normas técnicas nas fábricas com base na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Tais medidas parecem ter contribuído para forçar o setor de celulose e de papel a concentrar-se no aumento de sua produção e rever seus processos de produção e trabalho como um incentivo para acumular suas capacidades da produção.

A partir de 1971, seguindo uma visita de gerentes do BNDE às grandes fábricas de celulose e de papel na Suécia e no Japão, o banco começou a estimular a emergência de fábricas de grande escala no Brasil. Como consequência, o financiamento do banco tornou-se restrito a fábricas acima de um milhão de toneladas/dia. Isto foi uma intensificação do planejamento de crescimento industrial no Brasil. O Plano Nacional para Celulose e Papel para o período de 1975-79 visou à autossuficiência do Brasil em celulose e papel e à entrada no mercado internacional de exportação. Entretanto, a maioria de seus objetivos foram minados pelas crises de energia de 1973, que causaram um declínio de

14% na produção mundial de papel. Mas este plano também procurou estimular a modernização das fábricas e a introdução de técnicas antipoluição.

Não obstante, de 1978 a 1989, a capacidade instalada de celulose no Brasil aumentou de 3.167 toneladas para 5.040 toneladas ou de 4,3% em média anualmente, enquanto a produção, no mesmo período, aumentou de 2.004 a 4.370 toneladas ou de 7,3% em média anualmente. Quanto ao papel, de 1978 a 1989, a capacidade instalada cresceu de 3.268 toneladas para 5.946 toneladas ou de 5,6% em média anualmente, enquanto a produção de papel aumentou de 2.534 a 4.871 toneladas ou de 6,1% em média anualmente. Durante os anos de 1980, quando a economia brasileira passou por um período de recessão e de inflação, a produção de celulose aumentou de 3,1 milhões em 1980 a 4,3 milhões em 1989, ou de 3,7% em média anualmente. O Brasil não somente alcançou autossuficiência em celulose e papel, mas transformou-se no oitavo país do mundo em celulose e o 12º em papel. Como na Indonésia, os anos de 1980 não foram uma década estagnada para as indústrias de celulose e de papel no Brasil. Mas diferentemente da Indonésia, mesmo depois das expansões no Brasil, teve uma taxa de crescimento mais lenta na capacidade instalada e na produção durante esse período. E os valores da capacidade instalada das fábricas eram modestas quando comparados àquelas da Indonésia.

No final dos anos de 1960, os financiamentos do BNDE para as indústrias de celulose e de papel foram fornecidos somente para as empresas que tiveram sua própria fonte da madeira derivada de florestas plantadas. Isto, por sua vez, estava em linha com uma política explícita do governo federal brasileiro, de 1966, para estimular atividades do reflorestamento. Tais incentivos envolveram uma redução de 50% no imposto de renda de indivíduos e empresas. Esta política foi implementada através do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), criado em 1966. Tais medidas influenciaram o escopo de atividades das empresas (integração para acima) e, conseqüentemente, de seu engajamento em esforços sistemáticos de reflorestamento (p. ex., Suzano, Rigesa, Ripasa e Klabin). Da mesma forma, isto atraiu grupos estrangeiros para investir em novos projetos.

Respondendo a tal política, um grupo de 12 empreendedores, conduzido por um notável homem de negócios, Sr. Erling Lorentzen, empenhou-se em um projeto para produzir a madeira a ser exportada do Espírito Santo, um estado no sudeste brasileiro. Em 1967, fundaram a Aracruz Florestal. Naquele tempo, a situação do estado do Espírito Santo era muito ruim: a maioria de suas florestas naturais tinham sido cortadas para produzir carvão vegetal para o aço e outras indústrias, fato que levou a população local à pobreza. Depois de uma série de estudos técnicos e tomadas de decisão, este negócio inicial de floresta evoluiu em um grande projeto de celulose de mercado. Entrevistas e consulta aos arquivos

sugeriram que tal decisão tinha sido influenciada por empreendedores-chave como o Sr. Lorentzen e o brasileiro Eliezer Baptista. Junto com outros membros deste grupo, eles pareceram ter sentido e identificado uma boa oportunidade para iniciar uma fábrica de celulose com base no novo paradigma emergente do eucalipto. Como parte desse desenvolvimento, eles formaram uma nova empresa, a Aracruz Celulose (pesquisada aqui), que incorporou a Aracruz Florestal original e, em 1993, foi incorporada na Aracruz.

O negócio florestal da Aracruz foi construído com base em plantações de eucalipto usando sementes produzidas em uma fazenda florestal em Rio Claro (Estado de São Paulo), onde o cientista florestal, Sr. Navarro, tinha desenvolvido suas experiências. Inicialmente, a Aracruz considerou o *Eucalyptus grandis*, *E. Saligna*, *E. urophylla* e *E. Alba* como as espécies mais apropriadas. Entretanto, havia diversas dificuldades durante a plantação da inicial: suscetibilidade à podridão do tronco e ao crescimento irregular, e os padrões de forma da árvore. Para abordar esses aspectos, o centro de pesquisa florestal da Aracruz foi estabelecido em 1968. Foi julgado por alguns acionistas céticos como o investimento demasiadamente ambicioso e desnecessário.

A espécie *E. Saligna* teve que ser negligenciada por causa da ocorrência severa do cancro. Em 1971, esses problemas de sérias doenças da árvore tinham-se agravado. Por causa das diferentes condições do solo no estado do Espírito Santo, as mudas de eucalipto trazidas de São Paulo não se adaptaram bem e tornaram-se vulneráveis. A Aracruz respondeu à esta crise atualizando suas facilidades de pesquisa de modo a fomentar seu programa de melhoria genética para produzir seus próprios materiais adaptados às circunstâncias locais. Em 1972, a empresa começou sua primeira colheita e passou a vislumbrar o início da produção de celulose. Em 1973, derivado de capacidades em biotecnologia, a Aracruz iniciou seu próprio programa de melhoria genética. Cinquenta e cinco espécies diferentes de eucalipto foram trazidas da Austrália, da Indonésia e da África. Depois de diversas análises laboratoriais e avaliações do campo, os *E. grandis* e *E. urophylla* foram selecionados como as espécies mais aptas para as necessidades da Aracruz.

A Aracruz também começou a buscar financiamento para a construção de sua própria fábrica de celulose, uma difícil tarefa no mercado em queda em meados dos anos de 1970. A Aracruz lançou a produção de celulose de madeira somente em 1978. A unidade de produção da empresa em Barra do Riacho, no Espírito Santo, teve inicialmente uma capacidade de 400.000 toneladas. Os tempos da Aracruz se mostraram afortunados: logo depois que lançou a produção, os preços mundiais da celulose começaram a subir outra vez, e em meados

da década de 1980 ela tinha pago seus débitos. A Aracruz tornou-se rapidamente um dos produtores mais baratos do mundo de celulose de madeira, com preços por tonelada tanto quanto um terço ou mais que dos mercados competidores mundiais (principalmente países Norscan).

As entrevistas dentro da empresa sugeriram que a Aracruz tornou claro à indústria que a alta qualidade e os baixos custos da celulose dependiam de inovação sofisticada na silvicultura. A empresa continuou a desenvolver suas próprias espécies de eucalipto, produzindo sementes para suas próprias plantações. No início dos anos de 1980 suas sementes atraíram o interesse externo e a empresa começou a comercializá-las, lucrando assim com a sua inovação. Em consequência, a empresa foi capaz de produzir sementes melhoradas para seu próprio uso e em uma base comercial. Enquanto a Aracruz aperfeiçoou seu estoque de semente, começou a desenvolver seu próprio programa de clonagem para o desenvolvimento comercial. Selecionando sementes superiores para suas árvores clonadas, a empresa podia dar passos significativos em melhorar não somente a taxa de crescimento da árvore, mas igualmente a uniformidade e a qualidade, ajudando a reduzir ainda mais seus próprios custos.

Em meados dos anos de 1980, a Aracruz tinha acumulado capacidades inovadoras que permitiram aperfeiçoar suas técnicas de clonagem do eucalipto. Em 1984, quase 17 anos após o início de suas atividades de pesquisa, a Aracruz conseguiu o reconhecimento mundial, sendo concedido o prêmio de Marcus Wallenberg, considerado o prêmio de Nobel para o setor mundial de silvicultura. Entretanto, a clonagem apresentou seus próprios inconvenientes, tais como uma vulnerabilidade maior a determinadas doenças, exigindo o desenvolvimento de técnicas especiais de plantio, incluindo a intercalação com espécies nativas da árvore. Isto desafiou a empresa a um outro melhoramento em seu centro de P&D em silvicultura, a fortalecer as ligações com universidades locais e a começar parcerias com institutos de pesquisa internacionais pioneiros. Adicionalmente, em 1983, a Aracruz criou seu centro de P&D industrial ao focar-se sobre inovações de processo e de produto celulose.

Enquanto durante os anos de 1970 novas grandes empresas emergiram, como Aracruz, Cenibra, Rigesa e Santher, durante os anos de 1980 surgiu a VCP e a Orsa. O segundo Plano Nacional para Celulose e Papel de 1986 foi elaborado pela Associação Nacional de Celulose e Papel (ANFPC), e não mais pelo governo federal, o qual sugeriu um enfraquecimento da capacidade de planejamento do governo. Havia investimentos da ordem de US\$ 5,5 bilhões durante o período 1989-93. Isto foi financiado pelo BNDE, cuja ação contribuiu para deslocar os impactos negativos das circunstâncias macroeconômicas adversas. Durante os

anos de 1980, a política de SI foi enfraquecida enquanto o Brasil atravessou uma série de crises que combinou recessão e hiperinflação com uma sequência de falhas de planos de estabilização macroeconômica. Neste período, diversas empresas começaram a eliminar erros e automatizar seus processos de produção e a introduzir sistemas de controle da qualidade a fim de aumentar a eficiência.

2.5 Consolidação da Trajetória Variante e Mudanças nas Estrutura Institucional e Econômica (Início dos Anos de 1990 a 2007)

A partir de 1990, em adição a medidas anti-inflacionárias, uma liberalização gradual e constante da taxa de câmbio foi adotada, combinada com um conjunto de ações para desregular e abrir a economia à competição estrangeira. As tarifas de importação de diferentes setores industriais foram reduzidas dramaticamente (p. ex., de 116% em 1987 a 14% em 1997). O ano de 1990 é considerado um marco decisivo no Brasil tanto quanto os regimes de política industrial. Diversas empresas, de diferentes setores e tamanhos, foram varridas da economia brasileira por não terem sido capazes de enfrentar a competição estrangeira, enquanto outras procuraram se reestruturar ou se reinventar, especialmente em suas capacidades tecnológicas, para sobreviver a esta reforma econômica e enfrentar concorrentes estrangeiros ferozes. A Política Industrial e de Comércio Exterior (PICE), implementada em abril de 1990, procurou estimular o desenvolvimento da capacidade industrial e preparar a economia para a competição mundial. Envolveu diversos programas e incentivos fiscais e de crédito: o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade (PBQP) para disseminar novas técnicas de organização e gestão da produção (p. ex., TQC/M, JIT) e a criação e o melhoramento das instituições e de organizações para o controle da qualidade de fabricação (p. ex., o fortalecimento de organizações relacionadas à metrologia).

Como uma típica indústria de economia em desenvolvimento, as empresas brasileiras de celulose e de papel enfrentaram diversas barreiras para entrar nos mercados internacionais: os clientes eram céticos sobre um fornecedor até então não-tradicional como o Brasil e sobre a eficácia da celulose de eucalipto. Contudo, em 1991, o Brasil se posicionou como o 11^o na produção mundial de papel e em 1996 o Brasil tornou-se o quarto maior exportador de celulose e líder mundial em celulose branqueada de eucalipto. Entretanto, nos EUA as indústrias de celulose e de papel atravessaram um processo de estagnação e diversas fábricas começaram a fechar. De 1990 a 1999, a capacidade instalada de celulose no Brasil evoluiu de 5.110 toneladas para 7.900 toneladas, ou de 4,9% em média anualmente, enquanto a produção cresceu de 4.351 para 7.209 toneladas ou de 5,8%

anualmente em média. Quanto ao papel, durante o mesmo período, a capacidade instalada aumentou de 6.120 para 8.474 toneladas ou de 3,7% em média, enquanto a produção cresceu de 4.715 para 6.953 toneladas, ou de 4,4% em média anualmente. Seguem exemplos de três tipos de atividades/áreas para ilustrar algumas das mudanças principais que ocorreram nas capacidades destas empresas dos anos de 1990.

Atividades da gestão de projeto

A partir do início dos anos de 1990, a grande maioria das empresas pesquisadas, especialmente as mais inovadoras, procurou reconfigurar suas capacidades para adaptar-se a um novo conjunto de condições. Em termos de capacidades da engenharia de projeto, como colocado por um gerente: “Durante o final da década de 1970 e 1980, por causa da política de SI, todas as atividades tiveram que ser feitas em casa. Foi usado um grande número de pessoas para cuidar de atividades de engenharia de baixo valor e para projetar partes. A partir dos anos de 1990, movemo-nos da tradicional engenharia “tudo-em-casa” para a “coordenação de engenharia”.

Para iniciar sua fábrica B, a Aracruz moveu-se para o sistema da engenharia, procura e construção (EPC). O detalhamento de engenharia foi terceirizado para a empresa Jakko Pöyri e a engenharia básica realizada pela Aracruz juntamente com fornecedores, como a Kvaerner Pulping. Todavia, para a fábrica C, a Aracruz realizou um arrojado estágio implementando o ‘Projeto F’: sua área da engenharia foi dramaticamente reduzida para 15 coordenadores de projeto; os quais tinham que combinar habilidades técnicas e administrativas. Em vez de projetar uma grande EPC de ‘fonte única’, a empresa optou por uma EPC para cada unidade dentro da fábrica de celulose. Isto envolveu um complexo sistema de gestão: à Jakko Pöyri foi dada a gerência de relações dos sistemas de EPCs, enquanto a Aracruz supervisionou o empreendimento como um todo. Como um gerente disse: “Este tipo de gestão do projeto exige um alto nível de capacidade de coordenação interna, mas se paga.” Enquanto a fábrica B levou 36 meses para ser construída, a fábrica C foi instalada em 19 meses.

Este tipo de abordagem, como alguns entrevistados indicaram, difere daquele adotado pelas empresas na Finlândia, onde a engenharia básica é terceirizada e a engenharia detalhada é mantida na casa. A Klabin (que usa fibra longa e curta) igualmente se engajou na abordagem da EPC, mas manteve a engenharia civil, mecânica, elétrica e eletrônica na fábrica, enquanto a VCP também adotou a EPC e integrou todas as atividades de engenharia das fábricas no escritório corporativo para executar a coordenação total.

TI e sistemas organizacionais

Um tipo similar de reconfiguração foi adotado nas atividades de manutenção. Por exemplo, a empresa Aracruz criou, em meados dos anos de 1990, uma manutenção integrada envolvendo duas características principais: (i) um sistema de matriz organizacional combinando atividades de todas as unidades de suas três plantas com as atividades de TI, engenharia, suprimento, contratos, e das paradas das fábricas. Esta estrutura ajudou a integrar todas as atividades de serviço de manutenção que, ao final dos anos de 1990, tornou-se 100% terceirizada aos provedores de serviços permanentes e provisórios; (ii) todas estas atividades tornaram-se coordenadas por um comitê interno de engenheiros altamente especializados baseados em um ‘sistema de manutenção antecipado’. Isto envolveu um conjunto de modelos analíticos desenvolvidos na casa. Entre os resultados obtidos, o percentual de avarias de motores diminuiu de 20% (nos anos de 1980) para menos de 2% (em 2004). Em 2005 a empresa realizou, pela primeira vez, uma parada tripla de todas as três fábricas simultaneamente. Isto reduziu o tempo da parada de 12 para 7,5 dias.

Na VCP, durante o final dos anos de 1990, a execução do Projeto Repensar estimulou as pessoas a criticar as rotinas e procedimentos existentes e a encontrar maneiras diferentes de realizar suas atividades para obter melhor integração através das áreas e do desempenho melhorado. Por exemplo, os técnicos da manutenção foram relocados para as unidades de produção e passaram a trabalhar perto dos operadores: a empresa compreendeu que poderiam estruturar e resolver problemas mais criativamente trabalhando juntos. As entrevistas sugeriram que esta reconfiguração de capacidades de manutenção das empresas, por consequência, contribuiu para que grandes empresas como Aracruz, VCP, Klabin e Suzano passassem a extrair mais dos fornecedores especializados, significando não só uma redução de custos, mas um esforço para combinar o conhecimento externo e interno e melhorar o desempenho. Como descrito por um gerente: “A idéia da reestruturação e da externalização [atividades da manutenção] era reduzir não somente o número de pessoas e de custos. Nós entendemos que alguns serviços exigem conhecimento altamente especializado que somente alguns fornecedores podem fornecer. Mas nós precisamos ter capacidades sofisticadas dentro de casa para selecionar, coordenar, negociar indicadores de desempenho e avaliar seu trabalho”.

A partir dos anos de 1970 e início dos anos de 1990, as capacidades de TI foram focadas sobre as atividades administrativas e teve um caráter científico. Em meados dos anos de 1990, começaram a permear e integrar todas as atividades florestais para unidades de produção de celulose e de papel e unidades

de suporte. Este novo sistema de gestão de TI melhorou as interações com os clientes e acelerou a tomada de decisão. Por exemplo, nas fábricas integradas, uma demanda para uma celulose ou papel específico é ligada à unidade de produção que, por sua vez, é ligada a um satélite que identifica as árvores mais apropriadas para serem colhidas. Em 2002, este tipo de sistema suportou uma outra reorganização do Sistema de Gestão da Qualidade da Aracruz conduzindo, de acordo com as entrevistas, à melhoria da coordenação e integração das atividades e serviços internos e terceirizados. Em 2003, esta empresa tinha criado sete comitês empresariais (sistemas de gestão; desenvolvimento das operações florestais; produto e processo; terceirização; logística; ambiental; e departamento comercial e de operações), envolvendo diversas equipes de gerentes, para facilitar a comunicação e a tomada de decisão através de diferentes áreas funcionais e de especialização. As entrevistas na empresa sugeriram que a ideia de gerência superior atrás disto foi a de construir um entendimento comum dos problemas e objetivos, direções e recursos. Isto, por sua vez, procurou minimizar o lado dos efeitos da complexidade do negócio que podem inibir ideias inovadoras.

Iniciativas similares foram tomadas pela Klabin. Após ter executado seu programa de Fabricação Classe Mundial no começo dos anos de 1990, em colaboração com seu principal cliente, a Tetra-Pak, a Klabin implementou, no início da década de 2000, o ambicioso “Programa Superar”. As entrevistas na empresa revelaram que a idéia era superar barreiras do conhecimento do passado e conseguir a mobilidade simples e fluida do conhecimento através das diferentes áreas funcionais e das disciplinas para acelerar atividades inovadoras. Grupos multidisciplinares envolvidos foram chamados de “pilares”. Cada “pilar” teve um tutor e cobriu aproximadamente 10 a 15 projetos de inovação (p. ex., redução das perdas; processos e melhoria do rendimento; melhoria da entrega; e melhoria operacional, do anúncio publicitário e do desempenho do ambiente). Este programa envolveu quase 80% de trabalhadores de toda a fábrica, entre eles 60 engenheiros. Após a implementação deste programa, a posição da Klabin na classificação dos fornecedores mundiais da Tetra-Pak melhorou da 8ª para a 2ª, apenas próxima da Stora Enso.

Atividades de P&D

Durante meados da década de 1990, a Aracruz reestruturou outra vez suas atividades de pesquisa fundindo os centros de P&D florestal e industrial. As entrevistas do trabalho de campo sugeriram que, combinando estas duas unidades de pesquisa, a empresa procurou aumentar suas capacidades de pesquisa para se engajar em inovações mais sofisticadas, da interação de florestal ao cliente,

de uma maneira integrada. Isto envolveu, por exemplo, a melhoria no material genético baseado em sofisticada biotecnologia e nanotecnologia. Nos anos de 1990, o desenvolvimento de florestas clonais deu à Aracruz uma liderança mundial. Em termos de processo de branqueamento, a empresa fortaleceu seus esforços voltados ao meio ambiente que tinham começado nos anos de 1980, como a pesquisa sobre lignina biossintética e o patenteamento do processo de celulose totalmente livre de cloro (TFC). Em função desses processos inovadores, menos produtos químicos foram necessários no branqueamento da celulose para produzir o papel. Conseqüentemente, o impacto ambiental nas fábricas foi reduzido, especialmente em termos da diminuição de efluentes líquidos. Dos anos de 1990, a empresa ampliou seus métodos de controle de poluição baseados em microrganismos naturais. No início da década de 2000, a Aracruz também implementou uma política da propriedade intelectual para aumentar seu número de patentes.

Em outra frente, a integração com usuários foi intensificada. Por exemplo, as empresas de celulose como a Aracruz e a VCP criaram equipes dedicadas em suas unidades de P&D e nas áreas de processo para discutir inovações em produção com os grandes clientes produtores de papel, como a Kimberly & Clark. Tanto quanto as interações com fornecedores, durante os anos de 1990, como a Voith Paper reforçou suas atividades mundiais de projeto de máquinas de papel no Brasil, empresas como Aracruz usaram os laboratórios da Voith para testar algumas novas composições de fibras e processos.

Em relação a esta reconfiguração de atividades de P&D na maioria destas empresas durante os anos de 1990, um pesquisador disse: “Durante os anos de 1980 e o começo dos anos de 1990 nosso foco de pesquisa estava na própria madeira. Agora (2000) nossas pesquisas buscam encontrar os materiais genéticos que adicionam valor novo a nossos produtos e asseguram o retorno financeiro à empresa”. Durante o trabalho de campo, este grupo de pesquisa realizava um projeto baseado em oito diferentes materiais genéticos com implicações para a densidade de madeira e em inovações em fases do processo de produção, tais como reduzir o cozimento, branqueamento e as propriedades físico-mecânicas da celulose branqueada. Em consequência, poderiam combinar as características da produção de madeira com as necessidades de mercados de papel específicos (p. ex., impressão ou sanitário).

Superando a resistência interna, em 2002 a VCP criou o Centro para o Desenvolvimento Tecnológico de Celulose para integrar, em uma unidade de pesquisa, as atividades que eram realizadas separadamente: pesquisa, qualidade e assistência técnica. As entrevistas sugeriram que, combinando estas diferentes bases de conhecimentos, a companhia procurou acelerar projetos de desenvol-

vimento de produtos para melhorar o desempenho. Por exemplo, em 2005 esta unidade projetou um software, baseado em um conjunto complexo de equações, para calcular o valor econômico de um clone, permitindo que a empresa escolha o melhor clone para locais específicos. Em 2002, a Klabin reconfigurou seu centro de pesquisa baseado em uma revisão das rotinas e procedimentos, a documentação e processos de análise. As atividades de pesquisa e de qualidade foram integradas para aumentar a capacidade de implementação dos projetos de pesquisa: o número de projetos por ano aumentou de 10 (2003) para 60 (2006). Baseando-se em suas capacidades em biotecnologia, em 2005, esta empresa desenvolveu, em conjunto com a Sadia, um pacote com “barreira de água” que aumentou a segurança do alimento congelado embalado.

Ao final dos anos de 1990, as capacidades de P&D das empresas em silvicultura, combinadas com projetos de engenharia, capacidades de inovação em processo e produtos, permitiram empresas como Aracruz, VCP, Klabin, Rigesa e Suzano a reivindicar o lugar como as principais empresas de celulose e de papel do mundo baseadas em fibra do eucalipto. Todavia, tal posição de liderança foi também associada com uma importante mudança qualitativa observada nas capacidades de P&D das empresas durante os anos de 1990: uma intensificação das parcerias com institutos de pesquisa e universidades internacionais pioneiros em celulose e papel. Suas ligações com as melhores universidades brasileiras tinham começado durante os anos de 1970 e foram intensificados nos anos de 1990. Entretanto, no final dos anos de 1990 e no início da década de 2000, as parcerias com os centros internacionais permitiram às empresas alcançar e participar de grupos de pesquisa de alto nível.

Por exemplo, a Aracruz e a Klabin se juntaram ao Instituto Sueco de Teste de Fibra (STFI-Packforsk). Certamente, as parcerias das cinco maiores empresas também incluíram a Papricam (Canadá), KCL (Finlândia), o Instituto de Tecnologia da Geórgia de Ciência e Tecnologia em Papel (IPST), Paira (Reino Unido), PTS (Alemanha), MIT (EUA) e Toulouse, Saracuse, e as universidades da Carolina do Norte.

De 2002 a 2008, em conjunto com outras empresas e universidades e sob a coordenação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), essas empresas se engajaram em um projeto de âmbito nacional chamado Genolyptus – Rede Brasileira de Pesquisa do Genoma do Eucalipto, que caracterizou os fenótipos necessários para estudar a função dos genes em questão, adotando uma abordagem multidisciplinar a envolver pesquisadores das áreas de Genética, Bioquímica, Biologia Molecular, Reprodução, Fitopatologia, Tecnologia de Madeiras e Engenharia de Processos Industriais. Suas capacidades, como líderes globais, possibilitaram a tais empresas uma colaboração ativa com parceiros de econo-

mias mais avançadas. A Suzano, por exemplo, participou do projeto Genoma liderado pelo Joint Genome Institute (JGI), nos Estados Unidos, doando uma base de germoplasma (designada como Brasuz1) para o sequenciamento genômico completo do eucalipto. Tais parcerias não teriam se materializado se estas empresas brasileiras de celulose e de papel não tivessem desenvolvido capacidades altamente inovadoras. De um lado, seu engajamento em tais parcerias de pesquisa refletiu a complexidade e a especialização do conhecimento que sustentam suas atividades inovadoras, que não são possíveis de serem realizadas dentro dos limites das empresas, baseadas em modelos incorporados tradicionais. Por outro lado, suas capacidades inovadoras trabalharam como um “bilhete de admissão” para participar desses grupos altamente inovadores que, por sua vez, permitiram aumentar suas capacidades em P&D.

Portanto, as evidências aqui descritas sugerem que as capacidades tecnológicas inovadoras refletem os recursos exclusivos dessas empresas a fundamentar sua liderança tecnológica. Concomitantemente, eram comuns a todas as empresas algumas práticas (como, por exemplo, exercer atividades de pesquisa e ações inovadoras no processo de produção de celulose e papel), as quais serão discutidas a seguir. Tais empresas buscaram aprofundar suas capacidades inovadoras, de liderança mundial, através da reorganização de suas atividades de pesquisa durante o início da década de 2000. A VCP integrou suas atividades de pesquisa, previamente dispersas, em um centro de desenvolvimento tecnológico de celulose; a Klabin reconfigurou seu centro de pesquisa com base em uma revisão das rotinas e procedimentos de trabalho, da documentação e dos processos analíticos; a Aracruz promoveu uma fusão de suas pesquisas sobre silvicultura, celulose e papel, formando um centro de pesquisas mais completo.

3. Alguns Benefícios da acumulação de capacidades tecnológicas para empresas da indústria brasileira de celulose e papel

3.1 Desempenho inovador

3.1.1 Atividades Inventivas: Quantidade e Qualidade de Patentes

A quantidade de patentes aumentou em 40% nos anos 2000 em comparação com a década de 1990, período no qual a Aracruz publicou a maior quantidade de patentes na área florestal. Durante a década de 2000, a Suzano ostentou o número mais alto. Durante todo esse período, a Klabin e a Suzano foram responsáveis pelo volume mais elevado de patentes relacionadas a atividades de papel.

Essas evidências, que refletem os resultados concretos dos diferentes tipos e níveis de capacidades inovadoras das empresas, são a base para a implementação de novas atividades inovadoras.

3.1.2 *Atividades Inovadoras Implementadas na Silvicultura*

Em relação à silvicultura, o estudo reporta 24 observações de atividades inovadoras implementadas, bem como os benefícios a isso relacionados desde os anos 1970 até a década de 2000. A primeira produção de papel no mundo em alta escala a partir da polpa de eucalipto representou uma atividade inovadora importante, como resultado da capacidade desenvolvida pela Suzano nos anos 1960, e pavimentou o caminho para a introdução da chamada “nova polpa” no mercado internacional. A segunda inovação revolucionária, implementada pela Aracruz de meados dos anos 1970 até o início dos anos 1980, refletiu suas capacidades de pesquisa na produção em massa de mudas para plantio, reproduzidas por meio de clonagem. Por essa inovação, em 1984 a Aracruz recebeu o prestigiado Prêmio Swedish Marcus Wallenberg, que distingue inovações tecnológicas líderes no mundo em silvicultura. Durante os anos 1980, a Aracruz e a Suzano desenvolveram novas variedades de eucalipto que se revelaram mais produtivas e resistentes a doenças, além de adaptáveis ao clima do Brasil. Isso levou a um maior rendimento na produção de biomassa por unidade de área plantada e melhorou de forma significativa a qualidade da madeira usada como matéria-prima da indústria e o fornecimento de energia. Durante as décadas de 1990 e 2000, Aracruz, Suzano, Klabin, Rigesa e VCP expandiram suas ações inovadoras em silvicultura, o que se refletiu no aprofundamento de suas capacidades tecnológicas afins.

O estudo encontrou 28 situações resultantes de ações inovadoras implementadas nessas empresas relacionadas a celulose e papel. Durante as décadas de 1960 e 1970, as capacidades de engenharia e produção foram utilizadas para atualizar processos produtivos e equipamentos, bem como processos químicos, para produzir celulose e papel a partir das novas matérias-primas. As inovações envolveram a modificação de tecnologias de processo, então aplicadas a uma sucessão de novas fábricas ao longo de três décadas. Essas ações inovadoras baseadas na produção também devem ter contribuído para um incremento na média anual de celulose produzida (1980-2009), que foi de 6,08% nas empresas objeto do estudo, contra 4,8% de aumento médio registrado pelas outras empresas no Brasil. Ao mesmo tempo, a produção de papel das empresas pesquisadas elevou-se a uma taxa média anual de 3,9%, em contraste com as outras, que apresentaram 3,6% durante o mesmo período.

Desde os anos 1980, várias inovações no processo de branqueamento foram

associadas aos objetivos voltados ao meio ambiente e envolveram pesquisas sobre a biossíntese da lignina e o patenteamento do processo de produção de celulose Totalmente Livre de Cloro (TCF na sigla em inglês: Totally Chlorine Free), que continuaram através da década de 1990. A Aracruz, por exemplo, ao associar sua capacidade de pesquisa em silvicultura às suas pesquisas para a produção de celulose e papel, intensificou as investigações na biossíntese da lignina e em métodos de controle de poluição com base em microrganismos naturais. Por volta de 1992, a Aracruz adotou os processos Livres de Cloro Elementar (ECF na sigla em inglês: Elemental Chlorine-Free) e TCF, seguindo o procedimento adotado pelo Canadá e pela Escandinávia. A Aracruz, entretanto, foi ainda mais longe, criando uma variante do processo TCF que se caracterizou por um nível muito mais baixo de Halogênios Orgânicos Absorvíveis. O processo, conhecido como Alfa Livre de Cloro (ACF na sigla em inglês: Alpha Chlorine-Free), foi patentado em 1997. Um ano depois, a VCP criou sua própria versão do processo TCF. Devido a tais inovações, atualmente poucos produtos químicos são necessários para branquear a polpa usada na produção de papel.

3.2 Aprimoramento do desempenho operacional e relativo ao meio ambiente

O estudo reporta vários parâmetros de desempenho, agregados em nível nacional, referentes à silvicultura para celulose e papel. Esses parâmetros referem-se a recordes mundiais em silvicultura de fibra curta. Considerando-se a relevância tecnológica e o porte das companhias Aracruz, VCP, Suzano, Klabin e Rigesa, o estudo sugere que os parâmetros de liderança alcançados pelo Brasil refletem a acumulação de capacidades inovadoras que geraram as atividades implementadas. As melhorias nos parâmetros de desempenho em silvicultura demonstram as capacidades de manipulação genética e cruzamento seletivo das empresas estudadas. Por exemplo, a primeira geração de florestas de eucaliptos clonadas durante os anos 1980 reduziu em 20% o consumo de madeira e posteriormente em mais 20%, a partir de uma segunda geração, derivada da hibridização do eucalipto, que resultou no primeiro plantio comercial em larga escala de mudas de clones selecionados, derivadas de estacas lenhosas. Tal procedimento, por sua vez, proporcionou ganhos genéticos excepcionais em crescimento e adaptação às condições tropicais, além de rendimentos maiores de produção de celulose.

Os resultados do estudo indicam significativas melhorias em certos parâmetros de desempenho de processo na produção de celulose e papel no período entre 2000 e 2009. Por exemplo, as empresas estudadas atingiram consumo de água de 36,7 m³ por tonelada de celulose e média de 20,1 m³ por tonelada de

papel, valores equivalentes aos obtidos pelos melhores padrões tecnológicos disponíveis na Finlândia e na União Europeia (www.environment.fi). Avanços verificados em outros indicadores (consumo de vapor e eletricidade, bem como perda de fibras) também devem ter influenciado nas reduções de custo).

Quanto a indicadores relacionados ao meio ambiente em celulose e papel, a média de descarga de efluentes diminuiu, em média, 3% ao ano de 2000 a 2009, enquanto a emissão de SO_2 se reduziu, em média, 3,4% ao ano. Em termos absolutos, ambos os indicadores estavam abaixo dos limites estabelecidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) e pelas melhores técnicas europeias (BAT – Best Available Techniques). De forma similar, dentro das fábricas de papel, a redução na Demanda Biológica de Oxigênio (BOD na sigla em inglês: Biological Oxygen Demand) variou de 2,6% a 9,9% ao ano – em termos absolutos, valores abaixo dos limites estabelecidos pelo Conama. Consequentemente, o impacto ambiental das fábricas foi substancialmente reduzido principalmente no que se refere aos efluentes líquidos. As melhorias no desempenho refletem as atividades inovadoras das empresas, algo muito provavelmente resultante de suas capacidades. Ainda, as evidências do estudo sugerem que as capacidades tecnológicas das empresas e as atividades inovadoras e criativas implementadas devem ter exercido influência positiva na conquista de alta competitividade em custos de produção e comercialização no mercado internacional. Por exemplo, as vantagens competitivas das empresas – que foram responsáveis pela maior parte das exportações brasileiras de celulose – sobre as concorrentes do mercado internacional de celulose e papel ficam evidentes em suas habilidades de produzir por aproximadamente US\$ 225/tonelada de Celulose Kraft de Eucalipto Branqueada (BEKP).

3.3 Padrões de crescimento corporativo e expansões

Padrões de crescimento baseados em integração horizontal e vertical prevaleceram durante todo o período de 1950 a 2000 e parecem ter sido possíveis graças ao acúmulo de capacidades inovadoras em gestão de projetos, de modo a permitir a essas empresas elaborar e executar seus planos com parceiros e coordenar seus projetos de expansão. A Aracruz, por exemplo, desenvolveu novas técnicas de Engenharia de Projeto que lhe possibilitaram expandir suas linhas de celulose em tempo recorde mundial. A acumulação dessas capacidades parece ter valido a pena, pois a Aracruz e a VCP puderam implementar projetos de logística de grande porte que influenciaram positivamente sua competitividade.

A partir dos anos 2000 começou a se tornar significativa a diversificação das empresas, criadas sob o regime de SI, ou seja, sob as políticas de substituição de

importações (anterior a 1990). Seus negócios evoluíram ao redor da indústria de celulose e papel, com um nível muito baixo de diversificação. O caso de exceção fica com a VCP, parte de um grande grupo brasileiro de negócios diversificados em áreas de forma alguma relacionadas, como produtos químicos, cimento, metais, agroindústria, celulose/papel e bancos. Durante a década de 2000, porém, essas empresas começaram a utilizar sua capacidade tecnológica inovadora em nível de liderança mundial em silvicultura para diversificar as atividades, em uma abordagem que trouxe novas ações de “alta tecnologia” para as indústrias brasileiras de celulose e papel.

A Suzano, ao comprar a Futura Gene (com operações nos Estados Unidos, Israel, China e Sudeste Asiático), capacitou-se a participar de forma competente do mercado internacional de genes modificados e desenvolver árvores que exigem menos terra para plantio, consomem menos água e fertilizantes, produzem menos lignina (o que se traduz em menor quantidade de produtos químicos no processo de polpação) e promovem sequestro de carbono mais elevado, contribuindo para uma competitividade mais alta em seus negócios de silvicultura, celulose e papel. A criação da Suzano Energia Renovável possibilita a entrada no novo segmento da silvicultura de “florestas plantadas para energia”, com a produção de árvores geneticamente modificadas com curtos tempos de corte e propriedades caloríficas. Beneficiando-se de suas capacidades inovadoras líderes mundiais em silvicultura, a Klabin intensificou seus negócios em plantas medicinais, fitoterapia e fitocosméticos. Com relação à diversificação “indireta” das empresas, as evidências sugerem que, à medida que essas empresas acumulam suas capacidades inovadoras, também estimulam o surgimento de subsidiárias e expansões, tais como os quatro excepcionais exemplos seguintes: Imetame Metalmecânica, Inflor Consultoria e Sistemas, o grupo de empresas de madeira instaladas no município de Telêmaco Borba (PR) e o programa de parceria e fomento florestal.

Conclusões e implicações

Este capítulo teve por objetivo apresentar uma breve narrativa sobre trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas e seus impactos em performance competitiva em nível internacional, na indústria brasileira de celulose e papel. Os resultados do estudo mostram que os esforços para o desenvolvimento de capacidades tecnológicas inovadoras compensam em termos de desempenho inovador e competitivo. Em particular, tais esforços tornam-se fundamentais para a garantia de crescimento de longo prazo para as empresas.

Adicionalmente, como as empresas operam em ambientes cada vez mais in-

terconectados e em constante mudança, seu desempenho é mais suscetível às influências externas, incluindo condições macroeconômicas, alterações no quadro institucional e decisões próprias. Mesmo assim, a acumulação de capacidades inovadoras permite às empresas mitigar os impactos negativos dos fatores externos sobre sua competitividade, além de enfrentar certas descontinuidades em seus ambientes e superar crises. As descobertas, portanto, mostram que acumular níveis significativos de capacidades inovadoras possibilita não só alcançar a atualização tecnológica, mas também obter resultados significativos relacionados ao desempenho inovador e de negócios.

O estudo subjacente a este capítulo sugere que para alcançar os resultados descritos neste estudo, os gestores devem controlar uma multiplicidade de níveis e tipos de capacidades inovadoras para várias funções tecnológicas. Essas capacidades permeiam diferentes áreas funcionais e envolvem um grande número de profissionais. Consequentemente, esses gestores devem ter uma visão mais abrangente das capacidades de inovação, além de pesquisa e desenvolvimento, e valorizar a importância dos tipos de capacidade baseados em engenharia e sem vínculo com pesquisa e desenvolvimento, altamente relevantes para atingir um desempenho competitivo. Ainda, gestores e particularmente formuladores de políticas deveriam reduzir sua paixão por inovações radicais. Principalmente em economias em desenvolvimento, nas quais as políticas governamentais tendem a desempenhar papel importante nas inovações industriais, a ênfase deve recair sobre o desenvolvimento de capacidades baseadas em engenharia dentro das empresas, pois devem trabalhar como pré-condição para acumular níveis mais altos de capacidade e obter efeitos significativos no desempenho competitivo das empresas, das indústrias e, por fim, da economia.

As políticas corporativas e governamentais devem, portanto, *convergir* nos incentivos para estimular o engajamento das empresas a novas trajetórias tecnológicas, com o objetivo de conquistar um desempenho inovador líder em âmbito mundial. Uma diversificação a montante, baseada em capacidades inovadoras acumuladas, como a experiência das empresas de silvicultura aqui analisadas, parece ser um enfoque que gera bons resultados para os esforços de uma política de ação. Além disso, o estudo sugere que a conquista de desempenho ambiental depende, em grande parte da maneira como a empresa acumula suas capacidades tecnológicas inovadoras. Também, a acumulação de capacidades inovadoras pode contribuir para diversificar a produção dentro da própria empresa ou externamente, por meio de expansões. A diversificação das empresas, a partir de suas capacidades tecnológicas inovadoras, é importante tanto para as empresas, como para o país. É importante para as empresas, pois elas podem aproveitar

novas janelas de oportunidades para criação de novas linhas de negócio à base de novas tecnologias que garantirão o crescimento de longo prazo da empresa. É fundamental para o país, pois cria setores industriais novos para a economia, renovando a estrutura industrial e garantindo as bases para um crescimento industrial de longo prazo.

Novamente, os formuladores de políticas devem reduzir sua fascinação com a criação de parques científicos ou iniciativas similares (como financiamentos a projetos somente em nível de laboratórios de universidades) e criar mecanismos para estimular expansões e subsidiárias geradas dentro das empresas. O investimento em ciência apenas não produz, automaticamente, inovação industrial.

Referencias

Figueiredo, Paulo N. (2014), Beyond technological catch-up: An empirical investigation of further innovative capability accumulation outcomes in latecomer firms with evidence from Brazil. *Journal of Engineering and Technology Management*, 31 (1): 73-102

Figueiredo, Paulo N. . Discontinuous innovation capability accumulation in latecomer natural resource-processing firms. *Technological Forecasting & Social Change*, 77, p. 1090-1108, 2010.

XII

SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PRODUCTOS CELULÓSICOS Y SU UTILIZACIÓN EN ARGENTINA

Liliana Beatriz Molina Tirado, Gustavo Daniel Gil¹²

Introducción

La balanza comercial del sector foresto – industrial en Argentina, ha sido históricamente negativa (un déficit promedio de U\$s 841 millones durante los últimos 5 años³). A pesar de que existen bosques implantados, polos madereros para la producción de muebles, plantas para la producción de pulpas celulósicas (9 en todo el territorio argentino), y un mayor número de plantas papeleras; en general hoy la situación no ha variado en comparación a décadas atrás, y continuamos siendo exportadores de pulpas celulósicas (aproximadamente U\$S 140 millones FOB durante el año 2014, en sus variedades químicas blanqueadas para fibra larga y corta⁴) e importadores de papeles de distintas calidades. Además, contamos con producción de papel a partir de bagazo de caña de azúcar destinado en su gran mayoría, a consumo interno.

Pero el papel es hoy por hoy, uno de los productos con mayor valor agregado que Argentina produce a partir del recurso lignocelulósico. Situaciones como las que experimentan otros países, en los cuales refinan los recursos celulósicos (tanto forestales como agrícolas) para el aprovechamiento de sus componentes principales (celulosa, hemicelulosa y lignina), obteniendo a partir de ellos tanto biocombustibles como sustancias químicas (derivados de celulosa, xilanos, etc.), están lejos de ser implementadas en el territorio argentino como una solución

-
1. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI, Argentina
 2. Colaboradores: ZORNADA, Carlos Fernando y BROTO CARTAGENA, Miguel
 3. Cálculo INTI tomado a partir de datos de la Dirección General de Aduanas
 4. Dato tomado a partir de la Dirección General de Aduanas

productiva. Las promociones en este sentido a través de diversos organismos gubernamentales están fuertemente orientadas a la valorización energética de los recursos biomásicos provenientes de la actividad agrícola y forestal; y dada la situación energética del país, esta parecería ser la solución productiva más óptima de los recursos.

Si bien, esta necesidad es real, también es interesante evaluar otras alternativas para la región, ya que como se demostrará en este capítulo, estos recursos renovables son fuente de toda una familia de sustancias químicas que están siendo utilizadas en un número más que interesante de industrias, con posibilidades de aumento de esa demanda gracias a los estudios de utilización de la celulosa a escala nano. Esta posibilidad que hoy Argentina desaprovecha, colaboraría en mejorar la balanza comercial del sector, sustituyendo importaciones y exportaciones, además de la generación de industrias tecnológicamente más calificadas.

El objetivo del capítulo es entonces, dimensionar la situación actual del recurso lignocelulósico y su mercado requirente tanto para productos químicos como para el uso energético, analizando también la disponibilidad del recurso.

Estado de situación de la Disponibilidad del Recurso

Existen numerosos documentos que estudian con minuciosidad la cantidad de recursos forestales y agrícolas que son plantados en el país. Como es sabido, los recursos forestales están fuertemente orientados para la producción de productos madereros (muebles y otros destinados fundamentalmente a la construcción) y de productos celulósicos (pasta fundamentalmente para papel), utilizando como materia prima, la madera obtenida a partir de los bosques implantados (recursos que definimos como renovables). En cambio, para el primer grupo de productos también es utilizada madera de bosques nativos, el cual definimos como recursos no renovables. Respecto de los recursos agrícolas, la gran mayoría está destinada a alimentos (excepto las plantaciones de algodón).

Pero, en general, todos los productos resultantes de esta industria (papel, pasta, alimentos, textil, etc), están fuertemente instalados dentro de la cadena de valor del agro y la foresto industria argentina. Introducir o promocionar una nueva unidad de negocio significaría generar una competencia con estos productos que hoy se fabrican y que creemos que deben continuar siendo la primer solución productiva, por su demanda a nivel mundial, más puntualmente en el sector de alimentos. Por lo mencionado, el análisis de disponibilidad de recurso será realizado sobre los residuos tanto de la cosecha (RAC - residuos agrícolas de cosecha) como de su actividad industrial.

Estos residuos hoy están destinados, en el mejor de sus usos, a la generación de energía (tanto térmica como eléctrica). Sobre este tipo de uso, entendemos que siempre es necesario generar otras soluciones productivas más beneficiosas para el país a nivel económico y ambiental. Económicamente, por la estructura con la que está diseñada hoy el negocio energético (venta únicamente a distribuidores mayoristas a bajos precios y partir de una generación de 10 Mega) y, ambientalmente por entender que la combustión debe ser la última opción en el ciclo de vida de este tipo de recurso.

Por la razón anteriormente mencionada, los residuos agrícolas y forestales se analizan en este capítulo como materia prima para la producción de productos celulósicos necesarios para la sustitución de importaciones, y son comparados con el consumo de estos mismos para la obtención de energía.

Ejemplos de fuentes lignocelulósicas presentes en la agroindustria con potencial valorización para la producción de productos con un alto valor agregado, son:

- Linter de Algodón
- Residuos forestales (costaneros, viruta, aserrín, pulpa, etc.)
- cascarillas (arroz, avena, maní, etc.)
- bagazo de caña de azúcar

Los datos a continuación están basados en WISDOM⁵ (Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping – Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles), herramienta de análisis espacial para la determinación de las áreas de los dendrocombustibles. Si bien, fue iniciada para la evaluación de la biomasa leñosa, hoy el WISDOM mapea en Argentina la biomasa de origen agrícola y agro industrial, así como los residuos de poda y cosecha.

La fecha de referencia del estudio está tomada de 2007, que es la última información pública disponible. Aunque la información está siendo actualizada, estos datos no se encuentran públicamente disponibles al momento de la elaboración de este capítulo.

En la Tabla N°1, se demuestran datos referidos a la disponibilidad del recurso (Biomasa contenida en el Residuo agrícola, industrial y forestal, consideradas como fuente de biomasa indirecta) y la energía disponible que esta representa. Solo están considerados aquellos residuos biomásicos que son interesantes con respecto a su contenido aprovechable de celulosa y cuyo proceso industrial para la purificación de la celulosa es conocido a través de patentes o son de público conocimiento.

5. Wisdom es el resultado de la colaboración entre el Programa de Dendroenergía de FAO y el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional de México

Tabla N°1. Disponibilidad de Biomasa (fuente indirecta) y su consumo en su valorización energética

Residuos por tipo de industria	Disponibilidad (ton anuales base seca)	Cantidad de Energía disponible
Forestal		
• Plantaciones	844.749	
• Monte nativo	833.057	
Algodonera (año 2005)	54.310	16,7 MJ/kg (3-10% humedad)
Molino arrocero (residuo industrial) año 2005	128.000	3050 kcal/kg (12% humedad)
Azúcar (*)	1.155.970	
Maní	180.000	

(*) Sólo se consideraron las toneladas de residuo de la industria azucarera (bagazo de caña de azúcar), descontando la cantidad utilizada para la obtención de pulpa para papel⁶

Situación del Mercado de Sustancias químicas celulósicas

En términos generales, el consumo de celulosa, en forma de pasta de papel está en decrecimiento, contrariamente al crecimiento demográfico y la industrialización de los países en desarrollo⁷.

Sin embargo, habrá que tener en cuenta otros usos actuales y de potencial crecimiento de la celulosa. Según el tratamiento químico al que se somete a la celulosa una vez purificada, da lugar a toda una familia de sustancias químicas. Estamos hablando de ésteres (nitrato y acetato de celulosa) y éteres de celulosa (metil, hidroxietil, carboximetil y propilmetilhidroxi celulosa, entre los más importantes). Estos compuestos presentan infinidad de aplicaciones en los sectores: alimenticio, de la construcción, cosmética y farmacéutica, química (pinturas, adhesivos, jabones, resinas) como para destacar algunos.

Dentro de esta familia se encuentra la conocida Celulosa Microcristalina (MCC), la cual es una celulosa purificada presentada en formato de polvo cristalino. Tiene, como todos los derivados de celulosa, varios usos gracias a su propiedad hi-

6. Datos tomados del Análisis del Balance de Energía derivada de Biomasa en Argentina. WISDOM Argentina - Informe Final, FAO Departamento Forestal de Dendroenergía, mayo 2009

7. Página CEPI consultada 30 de julio 2015; <http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/statistics/2014/Final%20Key%20statistics%202013.pdf>

gros cópica pero además es estable con gran capacidad de formación plástica. Y, al igual que sus derivados, es utilizada en la industria farmacéutica y alimenticia.

Por otro lado, son numerosos los estudios a nivel mundial, que se están realizando para encontrarle mayores aplicaciones a la Nanocelulosa, material compuesto por nanofibras de celulosa, que presenta una buena relación resistencia - peso, buenas propiedades de barrera de sonido, O₂, y humedad y, al ser transparente, no imprime color al material en el que se lo aplica. Además, es biodegradable.

En Argentina, el consumo de la totalidad de este compuesto puro y sus derivados, no superan las 12 mil toneladas al año⁸, con lo cual es deducible que son productos que presentan un horizonte muy amplio de explotación teniendo en cuenta las posibilidades de aplicaciones en estudio. El principal problema que esta familia de productos debe sortear, es la disponibilidad a nivel nacional, ya que no existen plantas que produzcan ninguna de estas sustancias, a pesar de la materia prima que el suelo ofrece. En efecto, si bien existieron capacidades de producción en épocas anteriores, a partir del año 2012, la celulosa microcristalina y sustancias derivadas de la celulosa son importadas de otros países para su uso a nivel nacional.

La Figura N°1, demuestra el Balance de las transacciones realizadas para la celulosa y sus derivados químicos en los últimos años⁹.

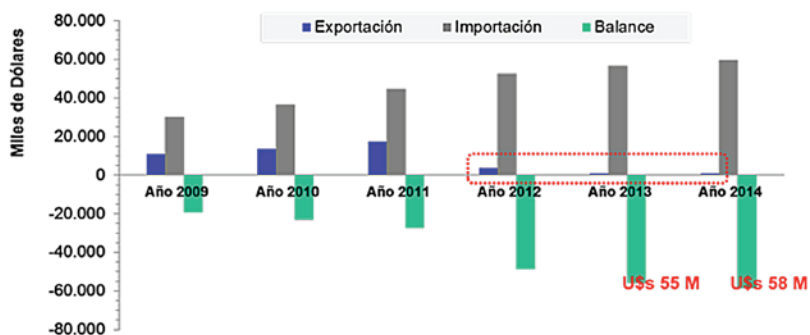


Figura N° 1. Balance anual para productos químicos celulósicos en Argentina en miles de dólares. Considerando los dos últimos años de estudio (año 2013 y 2014), estamos hablando de un mercado actual real de U\$s 55 a 58 millones.

8. Datos de la Dirección General de Aduanas, valor mayor histórico tomado hasta el año 2014 inclusive

9. Cálculo INTI tomado a partir de datos de la Dirección General de Aduanas



Por otro lado, observando los valores de las transacciones en toneladas anuales, se registra un aumento de los valores de importación aunque éste no resulte de forma sistemática.

La carboximetilcelulosa es la que representa mayor incidencia en las transacciones representadas en la Figura N° 1 y 2, seguida por la celulosa microcristalina pero con una amplia diferencia entre ambas.

En definitiva, estamos hablando de un mercado con actual vacancia pero con el agravante que en el país existe la tecnología y el conocimiento para llevarlo adelante. Posibles usos, mayores oportunidades buscadas por distintos grupos de investigación (esfuerzos subvencionados por capital estatal) serán nulos en la medida que no se recupere el know how de la obtención de este tipo de productos.

Tappi en sus publicaciones^{10,11}, presenta un estudio sobre las proyecciones del mercado para nanomateriales de celulosa aplicados en productos actualmente conocidos, cuantificando los valores de penetración industrial. Esta proyección estima un consumo promedio en los próximos 5 a 10 años, de 35 millones de toneladas métricas anuales de nanocelulosa considerando los productos hoy comercializados. Además, lista una serie de productos en los que existe cierta expectativa sobre el uso de la nanocelulosa, como por ejemplo los sensores, fibras, productos electrónicos flexibles, cosmética, etc, cuya aplicación se encuentra hoy en etapa de investigación. Por lo que si el mercado hoy es interesante, presenta un futuro no muy lejano con mayor perspectiva.

10. Shatkin, J. A., Wegner, T. H., Bilek, E. M.; Cowie, J.; "Market projections of cellulose nanomaterial –enabled products – Part 1: Applications"; Tappi Journal 13 (5): pp 9 – 16 (2014)

11. Cowie, J., Bilek, E. M., Wegner, T. H., Shatkin, J. A.; "Market projections of cellulose nanomaterial – enabled products – Part 2: Volume estimates"; Tappi Journal 13 (6): pp 57 – 69 (2014)

Situación del Mercado energético biomásico

El concepto de biomasa para uso energético es un concepto relativo, ya que toda la biomasa es susceptible de transformar y aprovechar energéticamente, pero exige que sea técnica y económicamente accesible.

La aplicación tecnológica de la biomasa para usos energéticos y el ámbito de conocimiento que involucra la factibilidad técnica y económica para su uso, se integran en el concepto de la Bioenergía.

La bioenergía promueve el desarrollo rural, generando nuevas unidades de negocio, fuente de empleo en este ámbito. Sin embargo, debe prestarse especial atención, al tipo de combustible biomásico que se promueve para evitar deforestaciones o desordenamiento territoriales. Además, fomentar la generación de energía sobre ciertos residuos agro o foresto industriales con niveles de celulosa comercialmente interesantes y de los que se cuente con conocimiento sobre su purificación, será un despropósito desde el punto de vista de la bioeconomía.

Argentina, como lo afirma la FAO en su bibliografía¹², posee condiciones ecológicas adecuadas para el desarrollo de los insumos básicos necesarios para la producción de energía a partir de la biomasa. Asimismo, tiene un gran potencial y ventajas comparativas para la producción de biocombustibles, ya que es uno de los principales productores mundiales de cereales y oleaginosas. Posee grandes extensiones de tierras aptas para el desarrollo de cultivos tradicionales (soja, girasol, maíz y sorgo) y no tradicionales (ricino, cártamo, colza, etc.) principales insumos para la elaboración de biocombustibles. Al mismo tiempo, es uno de los líderes en la exportación de aceites vegetales.

Según el reporte de The Clean Energy¹³, la energía obtenida a partir de la biomasa presenta en Argentina un lento crecimiento y que hoy se obtiene fundamentalmente, a partir del bagazo de la caña de azúcar (60%) y de la biomasa forestal (34%), ubicados principalmente al Noroeste (NOA) y Noreste (NEA) de Argentina, respectivamente.

Si bien la oferta de tecnologías para la generación de energía a partir de diversas biomásas a nivel mundial es variada, en nuestro país es aun escasa y poco especializada, con énfasis a escala de los pequeños y medianos productores. Otro dato de la realidad, es que tanto la industria celulósica como la papelera son altas requirentes de Energía Eléctrica por lo que, existen casos de inclusión de plantas de co-generación de energía (ej. Papel Misionero) a las fábricas pasteras.

12. FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – Departamento Forestal de Dendroenergía, Análisis del Balance de Energía derivada de Biomasa en Argentina, Informe Final, página 13, (Mayo 2009)

13. The Clean Energy Report, Estado de la industria Argentina de Energías Renovables, Noviembre 2011

La experiencia demuestra que la cantidad de energía generada, puede abastecer a la pastera, papelera y aportar a la red para consumo domiciliario. En el NEA de nuestro país, la alta densidad de este tipo de industria genera limitantes en el mercado del combustible biomásico forestal por la cantidad consumida.

Por otro lado, existen programas de fomento como el PROBIOMASA y el GENREN para el uso de energías renovables a partir de la biomasa, respaldadas por un marco regulatorio como las Leyes Nacionales 26.093¹³, 26.190¹⁴ y 26.334¹⁵. Todas estas acciones, en general, apuntan a diversificar la matriz energética a favor de las renovables y a la generación para el autoabastecimiento orientado al desarrollo local y al consumo en el lugar de producción.

La Biomasa como Energía¹⁷

La accesibilidad técnica del recurso establece la diferencia entre biomasa y biocombustible. La biomasa, puede ser un residuo, un subproducto o un producto que necesita convertirse en biocombustible.

La accesibilidad técnica de la biomasa para uso energético implica que la misma pueda ser transportada y almacenada, de fácil alimentación a los dispositivos que generan energía térmica en un primer paso, para luego transformarla sucesivamente en otras formas de energía. En general es necesaria una transformación que permita su uso, junto al desarrollo o modificación de medios y equipos. El grado de transformación es variable: puede consistir en transformaciones físicas o químicas necesarias para su aprovechamiento posterior, como sucede en algunos casos con chips procedentes de procesos foresto industriales o el RAC de caña de azúcar. Al ser transformada, se define como biocombustible solo a partir de definición y caracterización del producto. Esto es central para poder proporcionar al comprador valores específicos sobre sus propiedades como ser: humedad, poder calorífico (PCI y PCS - poder calorífico inferior y superior), granulometría, contenido de cenizas y elementos que describan su composición química como ser el cloro, azufre, nitrógeno, entre otros. Los valores que describen las propiedades del producto permitirán la correcta selección

14. Ley Nacional de Biocombustibles, donde expresa la obligatoriedad del uso de 5% de biocombustibles en naftas y diesel, a partir del año 2010.

15. Ley Nacional que declara de interés nacional el uso de fuentes renovables para la prestación de servicios públicos. Dispone una meta del participación del 8% de energías renovables en 10 años.

16. Ley Nacional de Régimen de promoción de la producción de bioetanol.

17. Texto elaborado con la colaboración del Ing. Miguel Broto Cartagena.

de equipos para su uso o transformación, y para diseñar correctamente las instalaciones de almacenamiento, transporte y manejo, además de determinar su influencia sobre la eficiencia del proceso en que se emplee.

Existen dos ejes principales en los procesos de transformación: la fluidificación y la densificación energética, es decir aumentar el contenido de energía por unidad de peso y especialmente de volumen. Los objetivos de estos procesos son facilitar y reducir costos de almacenamiento, transporte y alimentación, y aumentar la eficiencia de la combustión y del aprovechamiento de la energía. Por ejemplo, pasar de algo perfectamente sólido, como pueden ser ramas de madera recién cortadas a pellet, requiere de procesos de trituración, secado y densificación que aumentarán notablemente la densidad aparente y la densidad energética al bajar la humedad. Al estar la madera compactada en la forma física de pellet, presenta un aumento de la densidad energética estimada en cuatro veces mayor además de conferir al material la fluidez necesaria para facilitar su manejo que puede incluir la utilización de dispositivos neumáticos y, un control eficiente de la combustión. Se trata de una de las mayores mejoras posibles junto con la gasificación. El chip, por otro lado, es considerado un estadio intermedio, ya que es mejor cuanto más seco y más pequeño (dentro de la categoría chip) y homogéneo sea el tamaño de partícula.

La accesibilidad económica significa que esa biomasa, ya deja de ser considerada como un residuo para pasar a ser biocombustible, el que tendrá asociado un costo por unidad de energía determinado, lo que permite la comparación con otros combustibles. Este concepto está ligado a la eficiencia en el proceso de transformación energética y por supuesto al precio, en relación a sus propiedades. En este aspecto, la caracterización es también necesaria. Si no se conocen las propiedades es imposible determinar el costo de la energía y manejar con eficiencia los procesos e incluso, será dificultoso diseñar adecuadamente los equipos que permitan su transformación en energía.

La escala como Factor de Oportunidad para el Desarrollo Local

Si observamos la disponibilidad y dispersión de biomasa en el territorio argentino, subyace un elemento a considerar como factor relevante: la escala. En efecto, el aprovechamiento de la biomasa para usos energéticos encuentra sus principales límites en la escala de aplicación dado por la cercanía de la fuente de generación, la titularidad de los recursos y la distancia de la generación de los productos y subproductos energéticos de los centros de consumo para su aprovechamiento.

En determinados sectores de la cadena productiva, los índices de aprovechamiento de la materia prima tienen oportunidades de mejoras relevantes,

tanto en cantidad como en valor. Es previsible que en todo caso, cualquier proyecto de valorización energética, deberá basarse en dos pilares fundamentales: optimización de los procesos productivos en el que se recuperen, reutilicen y/o valoricen los residuos como elemento básico de rentabilidad, de forma independiente a cualquier proyecto de valorización energética que pueda suponer un incremento de rentabilidad complementaria; y eficiencia energética en los procesos productivos paralelo a una propuesta de generación de energía.

Abordados los puntos anteriores, es menester incorporar en la evaluación de la Valorización Energética (VE), un conjunto de productos y subproductos emergentes: Energía Eléctrica, Energía Térmica, Derivados Energéticos, y Servicios Energéticos y Ambientales.

Los proyectos integrados en modelos de negocio de productos y servicios energéticos, en suma a los productos o servicios ambientales, requieren de soluciones tecnológicas en la escala adecuada, y modelos pilotos que permitan validar las propuestas de aprovechamiento. Esta escala adecuada implica reducción de costos de transporte, creación de circuitos económicos locales, y aprovechamiento completo de los productos y de la energía, generando y comercializando todos los productos energéticos necesarios para ello. Se identificaron las ventajas de implementar modelos de aprovechamiento en parques industriales y/o en emprendimientos productivos dentro del esquema de consorcios energéticos. Se requiere del liderazgo o al menos de la colaboración de los estados locales para generar las condiciones de competencia que permitan el desarrollo e implementación de los modelos de valorización energética integral.

Las ventajas que ofrecen las alternativas de valorización energética de la biomasa son principalmente (siempre que se desarrollen modelos de aprovechamiento en la escala adecuada), los impactos directos en las economías locales y regionales a partir de la generación de empleo, la participación PyME en la oferta de productos y servicios, las sinergias y dinamización económica, la independencia y estabilidad de la industria y la competitividad de los mercados locales. Estas ventajas deben estar cuantificadas mediante indicadores estables y fiables, que permitan la comparación y establecer la evolución.

La definición de escala adecuada, refiere al desarrollo de proyectos en el que se pueda asegurar la participación de la industria local tanto en la oferta de productos y servicios como también, la comercialización de los productos y subproductos en un radio de cercanía técnica y económicamente conveniente. Ejemplo de ello es el desarrollo de un proyecto de generación de energía que cuente con el diseño de la comercialización de Energía Eléctrica y Energía Térmica en sus diversas formas, estos últimos productos requieren de demandas locales para efec-

tivizar su oportunidad comercial. Esto define, no solo la ubicación de proyectos inmersos en conglomerados productivos específicos, sino también en escalas donde todo lo producido pueda comercializarse.

Finalmente, habrá que resaltar el hecho que los negocios relacionados con la biomasa no se restringen a fabricar y vender biocombustibles, ni siquiera energía, sino que aparece un sector económico completo con variadas interacciones, oportunidades en maquinaria, equipamiento, transporte, ingeniería, electrónica, etc., e incluso en entidades de acreditación, de seguros y financieras. Si consideramos que el mercado energético es siempre creciente y que la competencia es cada vez menor, las opciones de negocio, variadas y con un nivel de inversión relativamente bajo es también muy diverso y accesible, que lo convierte en un sector prometedor y sustentable, como actualmente está experimentando Europa y en particular España.

Las opciones de negocio parten siempre de una demanda no satisfecha, de un mercado de compra. Por lo tanto, el inicio de las ideas de desarrollo de negocio no pueden partir únicamente de la existencia de un recurso excedente o poco valorado, aunque sea éste un requisito necesario, sino que el puntapié deberá darse por consumidores que puedan comprar un producto o servicio. Se trata entonces, de ofrecer un producto o servicio competitivo, y aunque en ocasiones puede ser un residuo cuya eliminación no está resuelta y por lo tanto se está dispuesto a pagar por ello, la mayor parte de los casos, y los que tienen mayor potencial de crecimiento tanto de la empresa como del sector, son aquellos que generan una plusvalía en sí mismos.

Las opciones de negocio se plantean con la base de una actividad empresarial independiente de las ya existentes, centrada en el mercado bioenergético. Esto no quiere decir que los inversores y gestores no puedan provenir de industrias que aborden este mercado con mayor facilidad, como por ejemplo la forestal, pero sí que tiene que tener un planteo propio e independiente, enfocado al mercado energético. Siguiendo con el ejemplo de la foresto industria, la empresa de este sector tendrá por objetivo la mejora de resultados por un análisis global de su actividad. En este análisis se tendrán en cuenta todos los productos, tanto los del mercado de madera como del mercado energético, buscando la máxima estabilidad y rentabilidad. Dentro de esta estrategia, es constante la búsqueda de incrementos en el rendimiento y en la eficiencia de los procesos, desarrollo de nuevos productos de madera con mayor valor añadido, estrategias comerciales y de marketing de los productos, y por supuesto, mejora del precio de los subproductos e incluso posibilidad de inversión en un negocio bioenergético. En esta dirección es posible crear una empresa del sector bioenergético, cuya estrategia no tenga relación alguna con la foresto industrial, aunque la aparición de un nuevo mercado para los subpro-

ductos con un producto como la energía supondrá un incremento del precio, por lo que la irrupción de la nueva empresa conlleva beneficios inmediatos para la matriz. Sin embargo, la acción de la nueva empresa irá dirigida a que el costo del subproducto sea el menor posible y al máximo beneficio posible en su actividad.

Los modelos de negocio sí pueden, y en la mayor parte de los casos es ventajoso, integrarse verticalmente, operando en varios, o todos, los eslabones de la cadena, que al ser corta lo hace posible. Los negocios que combinen productos tendrán mayor rentabilidad y robustez. La agregación de valor en pasos sucesivos mejorará la rentabilidad.

Por otra parte, los modelos centrados en mercados nacionales y más aún locales cuando el tamaño relativo lo permite, son estables y generan sinergias que repercuten positivamente en el negocio. Los mercados internacionales ofrecen oportunidades puntuales y son a veces necesarios si se busca una producción elevada desde el inicio, aunque son muy arriesgados ya que el tamaño de los operadores es demasiado grande y el mercado responde a estímulos ajenos no influenciados y muchas veces impredecibles, como lo son las políticas monetarias a las energéticas de los países de destino, pasando por la aparición de grandes competidores cuando el margen es elevado. De esta manera, los modelos de negocio en bioenergía basados exclusivamente en la exportación no son recomendables, excepto que el tamaño sea relevante en el mercado y el margen comercial, muy elevado.

Proponemos el siguiente camino para el análisis de los modelos de negocio, sin que por esto lo consideremos exhaustivo ni suficiente:

- Identificación y caracterización (incluida la distribución geográfica) de la demanda del/los productos, incluso la posible demanda interna y la competencia actual (Estimación de la evolución previsible)
- Diseño técnico del/los productos, y las sinergias de producción en caso de varios productos
- Diseño comercial del/los productos y la complementariedad en el caso de varios productos
- Identificación de materia prima, suministradores, precio, competencia en los diferentes mercados y evolución previsible
- Diseño proceso productivo y caracterización de equipos y tecnologías. (Suministradores)
- Identificación de variables y criterios para la decisión
- Selección de financiación pública y privada y aportes no reembolsables (ANR)
- Posibles socios y aliados
- Plan de negocio y marketing

La base de los posibles negocios puede incluir la fabricación y el suministro a consumidores de combustibles no satisfechos o a los que se puede realizar una oferta ventajosa. La oferta puede estar basada en un precio menor de la unidad de energía y/o en la seguridad de suministro. El modelo de negocio puede ser con venta directa al consumidor o venta a intermediarios, aunque es posible también incluir el negocio de la intermediación en el modelo, con un abastecimiento de otros fabricantes. También es posible plantear como negocio exclusivamente la intermediación o la compra-venta sin fabricación, pero es en general una posición débil en un mercado poco formado, con pocos fabricantes en el que sin control de la materia prima, es difícil asegurar el suministro y la continuidad y en el que, al ser corta la cadena, la mayor parte de fabricantes puede llegar al cliente final. En un momento posterior sí puede ser una buena opción.

Una potente línea de negocio es la basada en la fabricación y venta de combustibles con chip de madera para uso industrial. La Tabla N°2, demuestra que la diferencia de costo de estos biocombustibles respecto de algunos combustibles fósiles es muy importante, por lo que el potencial es claro y la rentabilidad es satisfactoria. Los datos fueron tomados por relevamiento propio durante la misión de fortalecimiento y desarrollo de capacidades en valorización de biomasa para la región norte del país realizada por el Ing. Miguel Broto Cartagena, especialista contratado en el marco del proyecto Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local ejecutado por el INTI con el apoyo de la Unión Europea.

Tabla N°2: Precios indicativos según características del combustible

	Humedad (%)	Precio (\$a*/t)	PCI** (MWh***t)	(\$/MWh)	Costo (%)
Astilla	50	250	2,4	104	10,6
	50	400	2,4	167	17,0
	50	600	2,4	250	25,5
	45	250	2,7	93	9,4
	45	400	2,7	148	15,1
	45	600	2,7	222	22,6
Pellet	10	1400	4,8	292	29,7
	10	1600	4,8	333	33,9
Gasoil		Precio (\$a/l)	PCI (MWh/l)		
	---	10	10,18	982	100

* \$a corresponde a pesos argentinos

** Poder Calorífico Inferior

*** MWh corresponde a mega – vatio hora

La producción de biocombustibles de diferentes calidades a partir de materias primas diversas, como procedentes de astillado directo de madera en el monte (con o sin corteza y hojas), astillado de podas, astillado de madera en rollo acopiada, y subproducto de foresto industria, es posible.

El subproducto de la industria como materia prima es el más sencillo de convertir ya que está presentado per se en un formato manejable y muchas veces con una selección. Para la mejora del valor del producto además de la garantía de suministro, habrá que tener en cuenta la selección granulométrica y el secado, ya que el chip seco además ofrece mejores propiedades para el transporte, el almacenado y el manejo, proporciona un mayor poder calorífico y eficiencia, y una mayor potencia en quemadores y calderas. Este es un aspecto no siempre evaluado, ya que en los equipos de combustión con biomasa, la potencia depende de la densidad energética del combustible, y por tanto de la humedad; de manera que los combustibles con alto contenido de humedad no alcanzan la potencia nominal. Para algunas tecnologías desarrolladas de gasificación, el secado es un paso imprescindible. En la actualidad, que esta etapa esté a cargo del proveedor es valorado positivamente.

La Tabla N°3 demuestra la influencia de la humedad en el poder calorífico y en el precio, a partir de datos ensayados en muestras de astillas de pino. El ensayo de PCI fue realizado de acuerdo a Norma UNE EN 14918:2011. Los precios fueron calculados a partir de un valor constante de kWh a partir del precio de la astilla al 45% de humedad.

Tabla N°3¹⁸. Relación entre el Poder calorífico Inferior para madera a diferentes humedades y el precio que corresponde a un mismo costo del kWh.

Humedad (%)	PCI (kJ)	PCI (kWh)	€/t
0	19700	5.47	118.00
5	18593	5.16	112.00
10	17486	4.86	105.00
17	15936	4.43	96.00
20	15271	4.24	92.00
24	14386	4.00	87.00
30	13057	3.63	79.00
35	11950	3.32	72.00
40	10843	3.01	65.00
45	9736	2.70	59.00
50	8629	2.40	52.00

18. Datos elaborados por Miguel Broto Cartagena.

Conclusiones

Argentina tiene un suelo provechoso para su aprovechamiento forestal y agrícola, enfrentado a la falta de ciertos productos correspondiente a esta cadena productiva que la caracterizaría como proveedora de productos de alto valor agregado para un número importante de industrias y con una expectativa de uso aún mayor. Para esta producción se cuenta con patentes, y experiencias comprobadas de otros países e incluso argentinas y otras en proceso de estudio. Además, promueve la generación de mano de obra técnica calificada.

La biomasa subproducto de la actividad agro y foresto industrial cada vez se posiciona mejor en el mercado debido a que su empleo energético y su aprovechamiento en general, presentan un gran número de ventajas, tanto para el productor, como para la sociedad y el medioambiente.

Específicamente, el uso energético puede brindar ventajas como el aumento de la capacidad de generación de actividad económica y empleo local, independientemente de la escala instalada. La bioenergía, como cualquier sector energético implica consumos masivos y crecientes, y por tanto es una actividad económica relevante. A diferencia de otras energías, además requiere de un empleo de mano de obra mucho mayor tanto, por unidad monetaria generada como por unidad de energía, por la necesidad de transformación local de los productos y por la industria auxiliar necesaria para su desarrollo. Por otro lado, el mercado energético argentino presenta la necesidad de desarrollar organismos técnicos competentes, capacidades de caracterización y ensayo para la normalización de combustibles sólidos y evaluación de los sistemas de aprovechamiento y transformación con el fin de construir confianza en la cadena de abastecimiento.

Es necesario entonces, analizar, diseñar y proyectar sistemas integrados de utilización de la biomasa que incluyan la producción de alimentos, materiales y energía, además de productos químicos, que generen soluciones productivas que sean las más adecuadas y estratégicas al territorio en que se plantea.

XIII

UMA VISÃO DO FUTURO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE CELULOSE

Adriano Pinto Mariano¹

Introdução

Embora atualmente biorrefinaria seja uma oportunidade adicional para a crescente indústria de celulose de eucalipto, fazer parte da equipe de biorrefinaria de uma grande empresa brasileira de celulose foi uma experiência desafiadora na qual diariamente estive envolvido em uma série de atividades de análise técnico-econômica e planejamento estratégico que, em última instância, iriam dar subsídios às tomadas de decisões da empresa sobre questões críticas. Algumas destas fundamentais tais como “devemos transformar nossa empresa em uma biorrefinaria?” e outras mais avançadas no processo decisório, tais como “devemos ser um investidor de capital nessa tecnologia ou licenciá-la?” Além disso, uma vez que empresas de celulose são agora constantemente abordadas por empresas desenvolvedoras de tecnologia de biorrefinaria - que oferecem uma gama de soluções para a produção de açúcares lignocelulósicos a custo competitivo, bem como para a produção de produtos químicos, materiais e combustíveis - a equipe de biorrefinaria estava permanentemente interagindo com essas empresas e analisando criticamente seus relatórios técnico-econômicos.

Aos dois meses nessa atribuição, fui designado para um projeto bastante intrigante e, ao mesmo tempo, uma boa oportunidade para apresentar à equipe os meus pontos de vista sobre biorrefinaria, pautados a partir da minha experiência em projetos de biorrefinaria e desenvolvimento de tecnologia. Com

1. Laboratório de Otimização, Projeto e Controle Avançado (LOPCA). Faculdade de Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) adrianomariano@feq.unicamp.br
Originalmente publicado em Mariano, A.P. “How Brazilian pulp mills will look like in the future?” O PAPEL vol.76, num.6, pp. 55-61, JUN 2015.

um escopo geral, o projeto consistia na definição de diretrizes a serem entregues aos dirigentes da empresa sobre futuros investimentos e fornecer uma resposta à seguinte pergunta desafiadora: “como nossas fábricas de celulose se parecerão no futuro?” Um ponto de partida para abordar esta questão, certamente, é reconhecer que fábricas modernas de celulose Kraft de eucalipto no Brasil, com linhas de fibra que ultrapassam a capacidade de produção de 1,5 milhão de toneladas (secas ao ar – tsa) de celulose branqueada por ano, já estão funcionando com tecnologias de última geração; e que em combinação com excelência operacional nas atividades florestais, de manufatura e logística, têm melhorado continuamente a eficiência energética e ambiental dessas fábricas e mantido o custo caixa em níveis bastante competitivos (Martin, 2013a e b; Figueiredo, 2014).

No entanto, embora ainda haja oportunidades de melhoria tecnológica no processo Kraft nos anos vindouros (principalmente incrementais, dada a natureza de capital intensivo desta indústria e a sua maturidade avançada), o autor deste trabalho decidiu dar ao projeto uma abordagem estratégica com vistas às potenciais transformações disruptivas (incluindo os produtos de biorrefinaria) e, notavelmente, aos efeitos que aspectos relacionados com energia deverão ter na tomada de decisão em relação a essas transformações.

Nas próximas seções deste capítulo são apresentadas quatro orientações estratégicas destinadas a dar uma resposta coerente, embora não definitiva, à questão sobre como fábricas de celulose serão futuramente no Brasil. Com uma abordagem multidisciplinar (negócios e tecnológica), importantes decisões são discutidas, principalmente levando em conta aspectos relacionados com energia e a valorização de subprodutos e resíduos.

Quatro diretrizes estratégicas para futuros investimentos em fábricas de celulose Kraft, sejam estes em projetos novos (*greenfield*) ou de reequipamento (*retrofit*), foram concebidos com base em considerações abertas envolvendo (i) as principais tendências na indústria de celulose, (ii) aspectos pertinentes relacionados com a diversificação de produtos, e (iii) a competição cogeração *versus* novos produtos. A principal linha de raciocínio das diretrizes é a suposição de que uma sequência de decisões estratégicas levará a diferentes tipos de fábricas no futuro, em contraste com o modelo padrão atual de fábricas Kraft produzindo celulose de mercado e energia elétrica. Atenção especial foi dada no intento de introduzir aspectos energéticos no contexto das decisões. Deve-se notar que a abordagem metodológica e a resposta à pergunta sobre como as fábricas brasileiras de celulose se parecerão no futuro têm um caráter genérico e expressam apenas as visões e opiniões do autor.

Identificação das principais tendências na indústria brasileira de celulose

Foram identificadas quatro tendências seguidas pelas empresas de celulose brasileiras com o fim de promover o crescimento sustentável da corporação e a expansão dos negócios, a saber: (a) aumento permanente da produtividade e sustentabilidade da floresta de eucalipto, (b) contínuo incremento da eficiência energética, (c) ampliação do *portfolio* de produtos a partir de tecnologias ainda em desenvolvimento, e (d) criação de valor a partir de subprodutos e resíduos. No caso das principais empresas do setor, essas tendências são geralmente apoiadas por atividades *in-company* de pesquisa e desenvolvimento e inovação (P&DI) em melhoramento clássico, engenharia genética, práticas avançadas de silvicultura e desenvolvimento de produtos e processos (Figueiredo, 2014). Vale a pena ressaltar que fusões e aquisições (M&A) também são uma forte tendência na indústria, e que as quatro tendências identificadas ainda são válidas no caso de atividades de M&A.

Empresas brasileiras de celulose têm um longo e constante histórico no desenvolvimento de florestas de eucalipto cada vez mais produtivas e na melhoria da qualidade da madeira para produção de celulose. Além de reduzir custos de produção, espera-se que os ganhos contínuos de produtividade também atenuem a pressão sobre os preços da madeira resultantes da competição por esta matéria-prima em outros usos na medida em que o setor expande seu *portfolio* de produtos para mercados nascentes, incluindo novos materiais de fibra, lignina, açúcares lignocelulósicos, produtos químicos e biocombustíveis avançados. Por outro lado, as novas unidades fabris e as florestas cada vez mais têm avançado para as regiões centro e norte do Brasil (por exemplo, Mato Grosso do Sul e Maranhão) atraídas por preços de terra muito competitivos e incentivos governamentais regionais. Por exemplo, no Mato Grosso do Sul, a área de floresta de eucalipto subiu 475% (de 120.000 para 690.000 ha) entre 2006 e 2013 como resultado da instalação de duas fábricas de celulose Kraft (Celulose Online 2014). Embora o custo de transporte da celulose de mercado a partir destas novas e distantes fronteiras de investimento para os portos marítimos seja compensado pelos baixos preços da terra, caso esta tendência de movimento persistir, as empresas terão de incluir novas e específicas restrições logísticas durante a concepção de novos *portfolios* de produtos. Como tal, é necessário ter em conta que diferentes categorias de bio-produtos (energia, combustíveis, produtos químicos de commodities, química fina, e materiais) estão sujeitas a diferentes estratégias competitivas na cadeia logística, que envolvem aquisição, produção, distribuição e vendas (Dansereau *et al.*, 2014).

Eficiência energética tem sido o principal propulsor de inovação tecnológica na última década (Martin, 2013a,b) e a decisão sobre como usar a energia excedente e biomassa terá grande impacto na concepção das futuras fábricas de celu-

lose. No momento atual, em resposta ao crescente aumento dos preços de energia nos últimos anos, o investimento em cogeração de energia tem sido a escolha preferida (ou exclusiva), e a venda de energia à rede tornou-se uma importante fonte de receita para as fábricas não-integradas de celulose Kraft. Além disso, em virtude de secas severas e recorrentes (que impactam a geração de energia hidrelétrica) e da escassez de gás natural, o preço de energia nos leilões sofreu uma disparada significativa, aumentando a atratividade da cogeração (Carranca, 2014). Na presente situação de alta do mercado brasileiro de energia elétrica, é razoável supor que a maior parte dos projetos de valorização de subprodutos e resíduos está direcionada a utilização destes para a cogeração de energia elétrica.

Os diferentes aspectos relacionados com as quatro grandes tendências apresentadas nesta seção servem como base para o desenvolvimento e a discussão das diretrizes estratégicas apresentadas em seguida. Como mencionado acima, ao invés de apresentar uma resposta fechada para a pergunta sobre como as fábricas de celulose serão no futuro, as diretrizes são construídas a partir de decisões estratégicas que estão agora na mesa dos tomadores de decisão e acabarão por levar a diferentes tipos de fábricas no futuro.

Diretrizes estratégicas

(1) *Portfolio* de produtos

Empresas brasileiras de celulose de mercado de eucalipto estão buscando transformar-se em empresas florestais (ou até mesmo empresas de biomassa em referência a outras matérias-primas) como um sinal claro dos seus planos de expandir seus negócios para mercados novos e diversificados. Como tal, a definição do *portfolio* de produtos numa instalação nova (incluindo aqui o reequipamento de uma fábrica) deve ser considerada como a principal decisão estratégica, a qual finalmente irá balizar o projeto da unidade fabril. Dessa maneira, são esperados diferentes modelos de fábricas. Dada a crescente participação de fibras curtas em mercados de papel *tissue* e de embalagens, é esperado que uma fração importante das futuras instalações permaneça com o modelo consolidado de fábrica com baixo risco de tecnologia, ou seja, uma fábrica de celulose Kraft não-integrada tendo como objetivo mercados dos EUA, Europa e China. Por outro lado, seguindo uma tendência mundial, as empresas brasileiras também estão acompanhando a crescente demanda de celulose solúvel pela indústria têxtil chinesa. De fato, o grupo Jari anunciou a conversão de uma fábrica de celulose para a produção de celulose solúvel com uma capacidade anual de 250.000 toneladas

(RISI, 2014). Um projeto integrado que permite uma produção flexível entre polpas para papel e polpas para celulose solúvel, na mesma fábrica, certamente irá atenuar os riscos de mercado de ambos os produtos. Particularmente no caso da polpa solúvel, as tarifas *anti-dumping* aplicadas pela China, a evolução da indústria do algodão, e a falta de integração vertical com os produtores de têxteis são os principais riscos para futuros produtores brasileiros (Vidal, 2014).

O projeto das futuras instalações também considerará novas matérias-primas e novos produtos de biorrefinaria (lignina, produtos químicos, biocombustíveis avançados, e novos materiais de fibras, tais como nanocelulose). Estas unidades fabris poderão ser biorrefinarias *greenfield* independentes (próximas às fontes de matéria-prima que podem ser diferentes das florestas de eucalipto, por exemplo, a “cana-energia”), ou muito provavelmente instalações anexas às fábricas Kraft. Enquanto o primeiro caso expande os negócios da empresa com relação à matéria-prima, o segundo caso pode se beneficiar das oportunidades de integração em diferentes níveis com a fábrica (energia, massa, fornecimento de matéria-prima, e compartilhamento de equipamentos), as quais são vantagens competitivas a serem exploradas.

Como ilustrado na Figura 1, a decisão “manter o negócio como tal” *versus* “novos negócios” será afetada por vários aspectos, incluindo a forma como as empresas irão evoluir com relação ao tradicional pensamento de commodities (competição por volume e não por diferenciação) e a característica forte aversão ao risco. Além disso, a diversificação das receitas além da cogeração implica na transformação da corporação e adaptação a novos modelos de negócios. Não menos importante, fatores externos também vão desempenhar um papel significativo na tomada de decisões. Estes incluem a taxa de progressão das curvas de aprendizagem das novas tecnologias e a redução de custos (incluindo custos de capital) associada à aprendizagem, a evolução dos novos mercados, e incentivos governamentais.

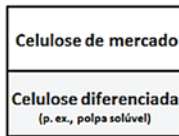


Figura 1. *Portfolio* de produtos: a principal diretriz estratégica para definição de futuros investimentos

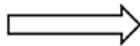
(2) Cogeração *versus* biorrefinaria

Enquanto que alta eficiência energética é um objetivo comum dos potenciais modelos de diferentes fábricas do futuro, os motivos para a geração de energia excedente são diferentes. As empresas que ao final decidirem por investir no modelo “negócio como tal” procurarão basicamente aumentar a penetração no mercado de eletricidade a fim de reduzir o custo caixa da polpa, e por fim eliminar o uso de combustíveis fósseis (com atenuação das emissões de gases do efeito estufa, GEE), como representado na Figura 2. De fato, como a maioria das fábricas de celulose no Brasil não são integradas (sem produção de papel, e estrategicamente não limitadas pelo decrescente mercado de papel de impressão e escrita), a grande parte dessas fábricas já tem excedente de energia. Notavelmente, investimentos recentes em novas fábricas de celulose, que apresentam processos com alta eficiência energética e unidades integradas de forma mais eficiente, tem gerado receitas significativas a partir da energia excedente. Por exemplo, em 2013 a unidade Três Lagoas da Fibria, que iniciou operação em 2009, atingiu um excedente de energia de 35%. Em combinação com outra fábrica, mais antiga e com um saldo excedente de 9%, a empresa teve uma receita de R\$ 67,3 milhões (USD 25 milhões) a partir da venda de energia à rede (30 MW), o que corresponde a um crédito de cerca de 6 USD/tsa (Fibria, 2013).

Modelo de fábrica: “manter o negócio como tal”



Impulsionadores

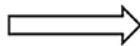


- Aumento da venda de energia elétrica para a rede
- Redução do custo caixa
- Autossuficiência energética incluindo substituição de combustíveis fósseis (redução de emissões de GEE)

Modelo de fábrica: “novos negócios”



Impulsionadores



- Aumento da biomassa excedente para a biorrefinaria
- Mais vapor disponível para a biorrefinaria (disponibilidade de vapor é uma restrição de projeto importante)
- Redução do custo caixa e de emissões de GEE

Figura 2. Impulsionadores do aumento da eficiência energética segundo o modelo de fábrica e o *portfolio* de produtos correspondentes

Considerando que a instalação de turbinas de condensação de baixa pressão possibilita o uso do excesso de biomassa (resíduos florestais e do pátio da madeira) e da lignina para a produção de um saldo positivo de eletricidade através da expansão e condensação do vapor excedente, os fluxos de matéria e energia excedentes podem, por outro lado, alimentar um processo de biorrefinaria integrado, ou em paralelo, ao processo Kraft. No caso da biorrefinaria, o aumento da eficiência energética é impulsionado pela necessidade de minimizar o investimento em caldeiras de energia complementares, bem como para evitar a compra de combustíveis fósseis relativamente caros (no Brasil, o preço do gás natural atual é de cerca de 10 USD/MMBTU). Por exemplo, estudos demonstraram que a produção de borracha de etileno-propileno (27 mil toneladas/ano) a partir da gaseificação do excesso de licor preto de uma instalação padrão de fibra longa Kraft branqueada iria demandar que as caldeiras de força operassem a plena capacidade (com compra adicional de biomassa e gás natural) e também a importação de 4,3 MWe da rede (em contraste com os 6,8 MWe originais vendidos à rede). No entanto, tal projeto apresentou atratividade econômica promissora, com investimento de capital de USD 237 milhões, e atraente 26% de TIR (Taxa Interna de Retorno) e 3,3 anos de tempo de retorno do investimento (*payback*) (Mariano *et al.* 2013).

A competição “cogeração *versus* biorrefinaria” não é exclusiva do setor florestal. Na verdade, é uma escolha frequentemente encontrada em projetos de biorrefinarias e permeia outras indústrias, incluindo as de cana-de-açúcar e milho (Dias *et al.*, 2011; Davis *et al.* 2013). A título de ilustração, em uma biorrefinaria para o processamento de palha de milho em hidrocarbonetos, estudos técnico-econômicos recomendaram a conversão da lignina em químicos commodities com valor agregado, tais como o ácido adípico. Apesar de resultar na importação de eletricidade, os créditos do produto derivado de lignina podem, potencialmente, baixar o preço de venda dos bio-hidrocarbonetos de 5,10 USD/GGE (por *Gallon of Gasoline Equivalent*) para 3 USD/GGE, correspondente ao preço alvo estabelecido para 2022 (Davis *et al.* 2013). Interessante, e igualmente válido para a indústria florestal, este mesmo estudo demonstrou que, dependendo da quantidade de lignina desviada para gerar produtos químicos, a conversão de lignina pode oferecer melhores retornos com relação às emissões dos GEE do que a combustão da lignina. No que diz respeito às métricas de sustentabilidade, vale a pena observar que a rede de eletricidade nos EUA é intensiva em carbono e, portanto, cogeração de eletricidade é responsável por um abatimento expressivo de emissões de GEE de 0,78 kgCO₂-eq/kWh (Davis *et al.*, 2013). Por outro lado, a rede elétrica brasileira é baseada principalmente na geração de energia hidrelétrica renovável (~70%)

e o fator de emissão é baixo, correspondendo a 0,096 kgCO₂-eq/kWh (MCT, 2011). Consequentemente, no Brasil, menores reduções de emissões (e potenciais créditos de carbono) seriam alcançadas com a cogeração em comparação aos EUA, aumentando o desempenho ambiental da opção de biorrefinaria (sobre cogeração) no contexto brasileiro.

Evidentemente, a competição “cogeração *versus* biorrefinaria” deve ser cuidadosamente avaliada além de um contexto estritamente ambiental e econômico. É aconselhável que as empresas empreguem metodologias sistemáticas de projeto para auxiliar a tomada de decisão, levando em consideração as incertezas das condições do mercado de energia, a evolução dos custos das novas tecnologias de biorrefinaria, e os riscos de mercado relacionados com os produtos de biorrefinaria (Svensson & Berntsson, 2011; Cohen *et al.*, 2010; Mohammadi, 2014). Além disso, dada a situação de impasse econômico enfrentada por empresas europeias e norte-americanas de celulose, é possível que essas empresas sejam as primeiras a se transformarem em empresas de biorrefinaria (*first movers*). Se a indústria brasileira de celulose decidir manter a estratégia de seguidor rápido (*fast followers*), e só investir em biorrefinaria no momento em que a penetração de fibras curtas no mercado de celulose de fibras longas estagnar, é esperado que essas empresas enfrentem fortes barreiras no acesso a mercados de baixo volume e com altas margens de lucros (de modo geral, outros além dos biocombustíveis), os quais já estarão devidamente protegidos. O ponto mais importante, a definição do momento mais oportuno e a capacidade de uma empresa transformar a sua estratégia de competição (não mais baseada em custos, que é característica do mercado de celulose) serão os fatores críticos de sucesso quando a escolha for pela biorrefinaria.

(3) Estratégia de biorrefinaria e energia

De um ponto de vista bastante pragmático, para uma empresa de celulose, biorrefinaria é uma opção de investimento na qual o excesso de energia (vapor, eletricidade e energia contida na biomassa) é depositado e se deseja um retorno econômico superior em relação ao negócio da atividade principal (celulose). Obviamente, as empresas estão buscando a maximização do valor econômico de suas florestas de eucalipto. No entanto, elas terão de enfrentar uma definição menos agradável de biorrefinaria, que envolve a criação de novos modelos de negócios, a diversificação de receitas e produtos e a penetração em novos mercados, e mais importante, a transformação da empresa (Janssen & Stuart, 2010). Além disso, a sustentabilidade no longo prazo do

novo negócio depende muito da solução de um quebra-cabeça intrincado com peças espalhadas em diferentes domínios: *portfolio* de produtos, tecnologia e matéria-prima (Figura 3). Nesta tarefa, a identificação e mitigação de riscos financeiros, tecnológicos e de negócio são cruciais. Além disso, a forte tendência tecnológica da atividade principal referente ao desenvolvimento de florestas com árvores de eucalipto geneticamente modificado pode estar em conflito com alguns mercados de biorrefinaria. Por exemplo, Corbion Purac afirma que a empresa “exclusivamente utiliza matérias-primas isentas de organismos geneticamente modificados para a produção de monômeros de PLA (ácidos polilácticos)”.

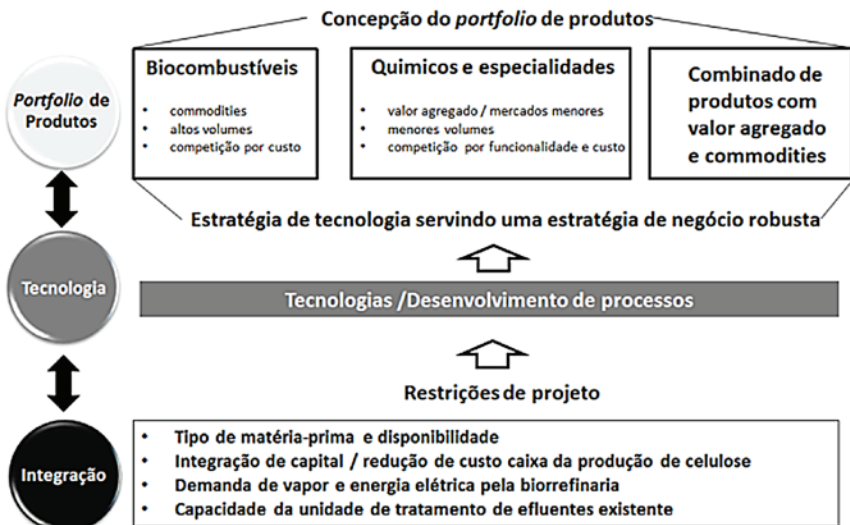


Figura 3. Peças do quebra-cabeça do projeto de uma biorrefinaria. Inspirado pelos conceitos apresentados em Batsy *et al.*(2013)

Focando na peça do quebra-cabeça correspondente à tecnologia, tecnologias de biorrefinaria têm diferentes eficiências energéticas (GJ/ton-produtos), e por esta razão, uma importante restrição de projeto, assumindo o modelo integrado, é a compatibilidade da quantidade e tipo de energia (vapor/energia elétrica) requerida pela tecnologia com aquela disponível na fábrica de celulose, cujo perfil de energia é geralmente específico para cada unidade. No entanto, a integração energética entre o processo de bior-

refinaria e a fábrica de celulose pode, potencialmente, melhorar a economia e eficiência energética global da unidade (Svensson & Berntsson, 2011; Rohani, 2014). Geralmente, há um impasse entre CAPEX e a redução de OPEX devido ao aumento da eficiência energética. Além disso, muitas vezes o aumento da eficiência energética e a melhoria do desempenho ambiental são oferecidos por tecnologias avançadas ainda em desenvolvimento, aumentando assim o risco tecnológico. Como ilustração, a produção de bio-butanol através duma fermentação em batelada e a recuperação do produto por destilação - ambas as tecnologias comercialmente comprovadas - demanda um consumo de vapor de aproximadamente 30 GJ/tonelada-butanol e uma geração de vinhaça de 80 litros/litro-butanol. Por outro lado, as tecnologias avançadas ainda em desenvolvimento, com biorreatores integrados a sistemas alternativos de recuperação de produtos (por exemplo, membranas) podem trazer significativas vantagens energéticas e ambientais, com as respectivas pegadas reduzidas para aproximadamente 10 GJ/ton-butanol e 20 litros/litros-butanol (Mariano & Maciel Filho, 2012). Essa classe de tecnologia avançada coloca a produção de butanol num nível de eficiência energética similar ao duma usina de etanol, e com isso pode permitir uma escala mais competitiva de produção. Certamente, esta é uma informação importante para uma empresa que almeja o mercado de biocombustíveis e tem que decidir entre um biocombustível tradicional (com mercados cada vez mais saturados) e biocombustíveis avançados (mais compatíveis com a infraestrutura existente e com mercados em crescimento).

Associando tecnologia com robustez de negócio, é importante lembrar que processos de separação no final do processo (*downstream*) são muitas vezes o gargalo em bioprocessos industriais e oferecem um grande potencial de economia de energia (Rohani, 2014; Kraemer *et al.* 2011). Num relatório para o Departamento de Energia dos Estados Unidos, Eldridge *et al.* (2005) descrevem processos híbrido/intensificados de separação como uma tecnologia-chave no esforço para reduzir a demanda de energia em bioprocessos. No entanto, a partir de uma perspectiva de sistemas, a escolha por uma tecnologia intensificada avançada para separação/purificação não deve (ou pelo menos minimamente) comprometer a flexibilidade do processo, que é um fator fundamental para uma implantação bem-sucedida de biorrefinaria em face às volatilidades de mercado, e, ao mesmo tempo, é importante para atender às demandas de mercado (Mansoornejad *et al.* 2010). Assim, para diferentes estratégias de biorrefinaria, é importante explorar os conflitos entre

a flexibilidade do processo e a intensificação do processo de separação, considerando-se a eficiência energética global, e os efeitos sobre os custos.

No que diz respeito aos negócios, tomando como exemplo a biorrefinaria da plataforma dos açúcares, fábricas de celulose podem estabelecer diferentes modelos de negócios e estes certamente estão ligados a diferentes demandas de energia. Na plataforma dos açúcares, a biomassa geralmente passa através de um tratamento físico-químico e enzimático, a fim de quebrar a estrutura lignocelulósica e produzir açúcares monoméricos. Estes são biologicamente convertidos em produtos químicos e combustíveis em tanques de fermentação, seguidos pela separação e purificação do produto. Nesta cadeia de valor, uma empresa de celulose pode decidir ser um produtor de açúcares lignocelulósicos e fornecer esse produto a clientes externos, que podem converter os açúcares em produtos químicos (por exemplo, ácido láctico) e combustíveis. Neste modelo de negócio, receitas são geradas a partir da venda de açúcares e o novo processo é suprido com vapor e energia elétrica gerados na fábrica de celulose (Figura 4). No caso de clientes que se instalem na área da fábrica, ou vizinhos a esta, a fábrica também pode gerar receitas adicionais com a venda de vapor e energia.

Por outro lado, no caso de uma empresa de celulose decidir por avançar na cadeia de valor, e assim investir em uma planta de combustíveis/produtos químicos a ser instalada na área da fábrica, a empresa pode decidir por tecnologias não patenteadas de prateleira, tais como fermentadores de batelada para a produção de solventes (n-butanol e acetona) usando microrganismos convencionais. Em vez disso, a empresa pode decidir por licenciar o uso de biorreatores avançados com recuperação de produto integrada e microrganismos geneticamente modificados, visando à melhoria de desempenho do processo (produtividade, rendimento e eficiência energética). Em suma, enquanto que os modelos de negócios e as opções tecnológicas são associados com diferentes retornos econômicos e riscos, uma questão crítica a ser abordada já na fase inicial do projeto é se as demandas de energia das estratégias preferenciais (ou mais promissoras) de biorrefinaria podem ser atendidas pela capacidade de geração de energia da fábrica que a abriga. Se não, o respectivo dispêndio de capital tem que ser adicionado ao fluxo de caixa do projeto, geralmente apresentado pelo fornecedor de tecnologia em um primeiro momento, e uma TIR “ajustada” deve ser considerada durante as fases iniciais do processo de tomada de decisão, como corroborado por Cohen *et al.* (2010).

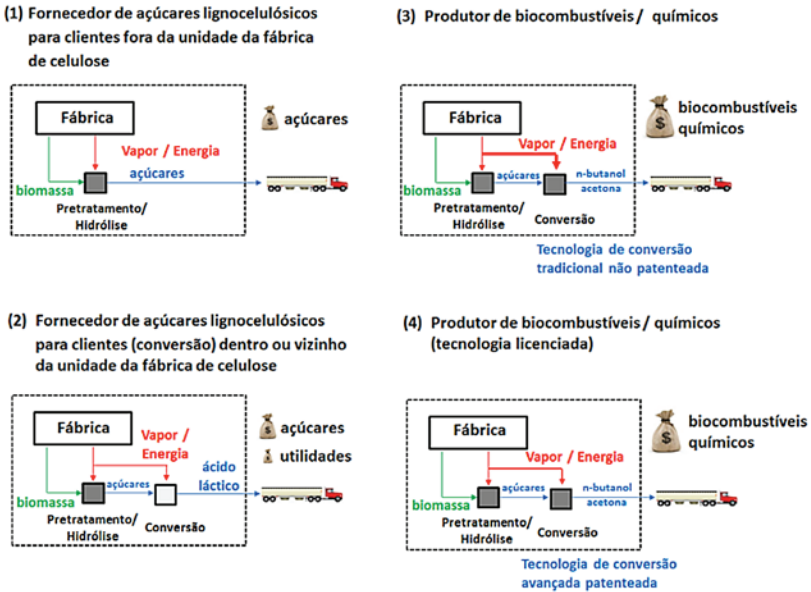


Figura 4. Modelos de negócios associados a tecnologias de biorrefinaria da plataforma dos açúcares e respectivas demandas de energia da fábrica de celulose. Produtos derivados de açúcares lignocelulósicos foram escolhidos por razões ilustrativas

(4) Valorização de subprodutos e resíduos: energia versus novos produtos

Resíduos e subprodutos são gerados tanto em operações florestais quanto em industriais. No primeiro caso, a casca de eucalipto merece uma atenção especial, não só por causa de seu uso atual para geração de energia (somente nos casos em que o descascamento do eucalipto é feito na fábrica, caso contrário, a casca é deixada no campo para fins agrônômicos), mas também como uma fonte de açúcares para serem convertidos em produtos químicos e combustíveis. No Brasil, os resíduos florestais correspondem a aproximadamente 30% da produção total da floresta de eucalipto, e a casca por 10-12% desses resíduos, ou 3 a 6 milhões de toneladas por ano no total (Bragatto, 2010; Lima *et al.*, 2013). Curiosamente, 20% w/w da casca corresponde a açúcares hexoses solúveis (glicose, frutose e sacarose) prontamente disponíveis. Estes podem ser recuperados através duma extração com água quente a 80 °C em uma única etapa, podendo gerar, por exemplo, cerca de 100 litros de etanol por tonelada seca de casca (Bragatto, 2010). O restante da casca, a matriz lignocelulósica, pode ser tratada para produzir açúcares lignocelulósicos, ou alimentar uma caldeira de força. Mesmo

admitindo que, pelo menos, 50% da casca produzida devam ser deixados no campo devido a restrições agrônômicas, certamente a casca de eucalipto é uma fonte complementar de açúcares promissora para uma biorrefinaria.

Nas operações industriais, a indústria de celulose já domina o uso de licor preto para fins de geração de energia. No futuro (próximo), tecnologias de gaseificação darão aos produtores de celulose a opção de conversão da corrente de licor preto em gás de síntese e a conversão deste em produtos químicos, combustíveis e energia. Além disso, a separação de uma porção da lignina do licor preto já é realizada em plantas pioneiras em escala comercial almejando mercados além da cogeração (por exemplo, a unidade Plymouth da Domtar na Carolina do Norte, e a unidade Sunila da Stora Enso na Finlândia). Outra importante fonte de carbonos de subprodutos são os efluentes líquidos do processo Kraft e de algumas tecnologias de biorrefinarias, especialmente da plataforma dos açúcares. A digestão anaeróbia de efluentes com elevada carga orgânica gera quantidades significativas de biogás, que pode ser queimado em sistemas de cogeração. Por exemplo, o reator anaeróbio da fábrica de celulose da Millar Western no Canadá vem produzindo cerca de 30.000 metros cúbicos por dia de metano para a geração de até 6 MW de eletricidade verde (REW, 2013). Por outro lado, outras utilizações de biogás incluem a sua purificação para gás natural com especificação compatível com gasodutos, ou a conversão catalítica do biogás para metanol. Uma fonte ainda inexplorada de carbono é o CO₂ no gás de combustão das fábricas Kraft existentes e dos processos futuros de biorrefinaria, incluindo CO₂ biogênico, tais como o produzido nos processos de fermentação. Como no processo desenvolvido por Kouhia (2013), tecnologias baseadas em microalgas certamente desempenharão um papel importante a fim de monetizar o CO₂ gerado em futuras fábricas de celulose.

Os tipos e possíveis usos de resíduos e subprodutos apresentados acima não cobrem todas as possibilidades e servem apenas para ilustrar a tomada de decisão “energia *versus* novos produtos” associada com a monetização de correntes secundárias de processo. Em geral, a opção de cogeração é a que apresenta menor risco de mercado por diferentes razões, tais como (i) empresas de celulose sabem atuar no mercado de eletricidade; (ii) contratos de fornecimento de longo prazo com o governo (estadual e federal) atenuam a volatilidade dos preços; e (iii) legislação e incentivos governamentais estão apoiando o crescimento da cogeração no mercado de eletricidade. De fato, as secas recorrentes foram reduzindo a capacidade hidrelétrica brasileira em face de uma demanda crescente. Além disso, juntamente com o baixo risco tecnológico associado com a maioria dos projetos de cogeração, créditos de energia podem reduzir no curto prazo o custo caixa da produção de celulose.

Por outro lado, a opção por “novos produtos” é um novo negócio para a empresa e, a fim de gerar receitas significativas, não deve visar correntes secundárias de processo com baixo volume (por exemplo, rejeitos das peneiras na polpação, e resíduos gerados no tratamento das águas residuais) que também limitariam as economias de escala do projeto. Enquanto que os novos produtos são geralmente associados a melhores retornos sobre o investimento, esta opção incorre em aumento dos riscos tecnológicos e de mercado, e, geralmente, os efeitos sobre os custos de produção da celulose são observados em médio prazo. Neste contexto, lignina Kraft é um candidato bastante promissor para o futuro próximo e a empresa Stora Enso, certamente, oferece um bom exemplo de como desenvolver estrategicamente um novo negócio com lignina. Enquanto eles estão avançando sobre a curva de aprendizagem da tecnologia (reduzindo o custo de produção) e também desenvolvendo novas aplicações e mercados para lignina, tanto os riscos de tecnologia quanto os de mercado são mitigados ao direcionar a produção de lignina internamente como um substituto para o gás natural no forno de cal.

Sem dúvida, a decisão sobre a forma de valorizar correntes secundárias de processo é específico para cada unidade fabril e se apresenta como um problema multivariável e multidimensional, e particularmente no caso da casca do eucalipto, a decisão envolve interesses conflitantes entre o manejo florestal e a operação industrial. A fim de facilitar a tomada de decisões (válida também para as outras três orientações estratégicas), uma abordagem sistemática deve incluir (a) a proposição de alternativas com combinações tecnologias-produtos e a avaliação do desenvolvimento (técnico/mercado) destas, esperado ao longo dos anos (semelhante ao formato dum *roadmap*), bem como (b) a definição dum conjunto de critérios de seleção multidimensionais, a fim de avaliar as alternativas a partir duma perspectiva de negócios e sustentabilidade ambiental, tais como aqueles apresentados em Senaei (2014).

Conclusões

As quatro diretrizes apresentadas neste trabalho prospectivo fornecem uma discussão estratégica sobre as principais questões que empresas de celulose são aconselhadas a analisar a fim de conduzirem decisões sistemáticas, baseadas em informação, sobre o projeto de suas futuras fábricas e possíveis reequipagens das unidades existentes. A ruptura de um projeto com foco exclusivo em celulose de mercado e cogeração pode trazer valor adicional para as florestas de eucalipto e apoiar expansões sustentáveis dos negócios, tanto no lado da matéria-prima quanto em relação aos produtos.

Para tanto, é esperado que a taxa de sucesso aumente se na fase de síntese

do projeto é dada prioridade à definição dos *portfolios* de produtos candidatos e às respectivas opções de modelos de negócios. Soluções tecnológicas disponíveis para um determinado *portfolio* de produtos devem ser avaliadas de acordo com os seus riscos e potenciais problemas de integração com a fábrica de celulose, especialmente a disponibilidade e a demanda de energia.

No caminho em direção à transformação para biorrefinaria, até o momento em que as perspectivas do mercado de celulose de fibra curta ainda sejam atraentes, é muito provável que as empresas brasileiras de celulose deem preferência para biorrefinarias alimentadas com resíduos florestais e correntes secundárias de processo (principalmente lignina). Durante este período, a capacidade de uma empresa de evoluir com relação ao tradicional pensamento de commodities será um fator chave de sucesso do negócio.

Referências

- Batsy, D. R., Solvason, C. C., Sammons, N. E., Chambost, V., Bilhartz, D. L., Eden, M. R., El-Halwagi, M. M., Stuart, P. R. In *Integrated biorefineries: Design, Analysis and Optimization*; Stuart, P. R., El-Halwagi, M. M., eds; CRC Press: New York, 2013; ch 1.
- Bragatto, J. (2010): Avaliação do potencial da casca de *Eucalyptus spp.* para a produção de bioetanol. PhD dissertation. University of São Paulo, Piracicaba.
- Carrança, T. (2014): Cogeração avança na indústria em meio à falta de gás e crise hidrológica. DCI. Available [Online] www.dci.com.br/negocios/cogeracao-avanca-na-industria-em-meio-a-falta-de-gas-e-crise-hidrologica-id416110.html [16September2014].
- Celulose Online (blog) (2014): Em seis anos area plantada com eucalipto cresce 475% no MS. Available [Online] <http://celuloseonline.com.br/em-seis-anos-area-plantada-com-eucalipto-cresce-475-no-ms/> [11July2014].
- Cohen, J., Janssen, M., Chambost, V., Stuart, P. (2010): Critical analysis of emerging forest biorefinery (FBR) technologies for ethanol production. *Pulp & Paper Canada*. May/June 24-30.
- Dansereau, L. P., El-Halwagi, M., Chambost, V., Stuart, P. (2014): Methodology for biorefinery portfolio assessment using supply-chain fundamentals of bioproducts. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 8 716-727.
- Davis, R., Tao, L., Tan, E. C. D., Bidy, M. J., Jacobson, J., Cafferty, K., Ross, J., Lukas, J., Knorr, D., Schoen, P. (2013): Process Design and Economics for the Conversion of Lignocellulosic Biomass to Hydrocarbons: Dilute-Acid and Enzymatic Deconstruction of Biomass to Sugars and Biological Conversion of Sugars to Hydrocarbons. Technical Report, NREL/TP-5100-60223.
- Dias, M. O. S., Cunha, M. P., Jesus, C. D. F., Rocha, G. J. M., Pradella, J. G. C., Rossell, C. E. V., Maciel Filho, R., Bonomi, A. (2011): Second generation ethanol in Brazil: can it compete with electricity production? *Bioresource Technology*. 102 8964-8997.
- Eldridge, R. B., Seibert, A. F., Robinson, S. (2015): Hybrid separations/distillation technology. Research opportunities for energy and emissions reduction. Industrial Technologies Program, U.S. Department of Energy.

- Fibria (2013): Firms no Rumor. Report. Available [Online] www.fibria.com.br/relatorio2013/shared/relatorio-de-2013-firmes-no-rumor-7abr2014.pdf [7April2014].
- Figueiredo, P. N. (2014): Beyond technological catch-up: An empirical investigation of further innovative capability accumulation outcomes in latecomer firms with evidence from Brazil. *Journal of Engineering and Technology Management*. 31(1) 73-102.
- Janssen, M., Stuart, P. (2010): Drivers and barriers for implementation of the biorefinery. *Pulp & Paper Canada*. 111(3) 13-17.
- Kouhia, M. (2013): Integration of a microalgae-utilizing biorefinery into a pulp and paper mill? PhD dissertation, Aalto University, Espoo.
- Kraemer, K., Harwardt, A., Bronneberg, R., Marquardt, W. (2011): Separation of butanol from acetone-butanol-ethanol fermentation by a hybrid extraction-distillation process. *Computers & Chemical Engineering*. 35 949-963.
- Lima, M. A., Lavorente, G. B., Silva, H. K. P., Bragatto, J., Rezende, C. A., Bernardinelli, O. D., Azevedo, E. R., Gomez, L. D., McQueen-Mason, S. J., Labate, C. A., Polikarpov, I. (2013): Effects of pretreatment on morphology, chemical composition and enzymatic digestibility of eucalyptus bark: a potentially valuable source of fermentable sugars for biofuel production – part 1. *Biotechnology for Biofuels*. 6 75.
- Mansoornejad, B., Chambost, V., Stuart, P. (2010): Integrating product portfolio design and supply chain design for the forest biorefinery. *Computers & Chemical Engineering*. 34(9) 1497-1506.
- Mariano, A. P., Harlin, A.; Manninen, J.; Chambost, V.; Stuart, P. (2013): Techno-economic analysis of process alternatives for the production of ethylene-propylene rubber from forest-based feedstocks. *Tappi Journal*. 12 19-32.
- Mariano, A. P., Maciel Filho, R. (2012): Improvements in biobutanol fermentation and their impacts on distillation energy consumption and wastewater generation. *BioEnergy Research*. 5(2) 504-514.
- Martin, C. (2013a): Eficiência energética. *O Papel*. September 32-38.
- Martin, C. (2013b): Indústria Ecoeficiente. *O Papel*. October 32-40.
- MCT - Ministry of Science and Technology (Brazil) (2011). Available [Online] <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/74694.html> [retrieved 21January2015].
- Mohammadi, S. (2014): Adapting the experience curve for estimating biorefinery costs. MSc thesis. École Polytechnique de Montreal, Montreal.
- REW - Renewable Energy from Waste (2013): Alberta Pulp Mill to Upgrade Wastewater Treatment System. Available [Online] <http://www.rewmag.com/slave-lake-pulp-adi-systems-install-ad.aspx> [2July2013].
- Risi (2014): Brazilian Jari expects to produce DP by July; negotiates antidumping duties with China. April.
- Rohani, N. M. (2014): Design methodology for integrated downstream separation systems in an ethanol biorefinery. MSc thesis. École Polytechnique de Montreal, Montreal.
- Senaei, S. (2014): Sustainability assessment of biorefinery strategies under uncertainty and risk using multi-criteria decision-making (MCDM) approach. PhD dissertation. École Polytechnique de Montreal, Montreal.
- Svensson, E., Berntsson, T. (2011): Planning future investments in emerging energy technologies for pulp mills considering different scenarios for their investment cost development. *Energy*. 36 6508-6519.
- Vidal, A. C. F. (2014): O renascimento de um mercado: o setor de celulose solúvel. BNDES Setorial. 38 79.

XIV

NANOTECNOLOGIA PARA A ECONOMIA VERDE – LCNANO - UFPR SISNANO

Graciela Ines Bolzon de Muniz¹

Economia verde

Com a expansão da indústria de base florestal e a procura de novos produtos de materiais lignocelulósicos, as indústrias devem ser mais eficientes quanto aos processos industriais empregados, utilizando informações seguras, precisas e diretamente relacionadas ao produto que se deseja obter. Soma-se a esse aspecto a preocupação ambiental e as demandas legislativas quanto ao destino do material ao final do seu ciclo de vida útil. O uso de fontes naturais para a obtenção de materiais nanoestruturados, de alternativas de tratamento com menor impacto ambiental, bem como o reaproveitamento de resíduos, torna-se viável já que são matérias-primas renováveis e biodegradáveis, e possuem propriedades que satisfazem com êxito as características desejáveis em distintas aplicações. Nesse contexto o conceito de “economia verde” oferece oportunidades para mudar a maneira como a sociedade gere a interação entre os domínios econômicos e ambientais.

Para permitir que a sociedade construa e sustente a economia verde, o conceito associado de “nanotecnologia verde” pretende explorar inovações em escala nano nas ciências e engenharia de materiais, para gerar produtos e processos que são energeticamente eficientes bem como economicamente e ambientalmente sustentáveis.

O uso de fontes naturais em substituição a materiais sintéticos proporciona

1. Prof. Titular Dra. Coordenadora do LCNANO-Sisnano

o desenvolvimento de materiais compósitos e nanocompósitos com características vantajosas. Para corroborar a importância deste tipo de material, a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO-ONU) declarou o ano de 2009 como o ano internacional das fibras naturais. Além de baixo custo, o uso de fontes naturais como reforço ou enchimento reduz o impacto ambiental causado por materiais sintéticos e, ao mesmo tempo, viabiliza o reaproveitamento de materiais residuais subutilizados. Além destas, destaca-se como vantagens das fibras naturais: material renovável de disponibilidade ilimitada; menos abrasivas que fibras sintéticas, como a fibra de vidro e fibra de carbono. Dessa forma, geram um menor desgaste dos equipamentos de processo; biodegradabilidade; baixa densidade e alta deformabilidade quando comparadas com materiais similares neste campo de aplicação.

Com a crescente demanda por produtos de alto desempenho, investimentos têm sido cada vez mais crescentes no desenvolvimento de materiais com propriedades especiais e diferenciadas, e que ao mesmo tempo proporcionem também uma redução de custos à cadeia produtiva. Nesse âmbito, destaca-se a nanotecnologia e os materiais nanoestruturados, que são baseados na construção de novos materiais a partir da matéria em nível atômico e molecular. Estes materiais têm, atualmente, atraído pesquisadores devido ao seu enorme potencial de aplicação nos mais variados setores e aos resultados promissores que esta tecnologia prenuncia. Faz-se presente a busca por fontes alternativas e baratas para obtenção de materiais nanoestruturados ou modificados a partir de nanoestruturas em prol da acessibilidade destas tecnologias ao meio industrial e em benefício da população como um todo.

Sistemas de nanopartículas já estão presentes em aplicações no setor de base agroflorestal: na incorporação de biocidas para liberação lenta e controlada; funcionalização de superfícies por plasma, possibilitando o endurecimento de ferramentas de usinagem e alteração de propriedades de produtos lignocelulósicos (papel, compósitos, entre outros) como adesão superficial, abrasão e envelhecimento; e a sílica oriunda de fontes naturais e suas nanoestruturas, que podem atuar como agentes de impregnação e reforço de materiais compósitos.

As nanoestruturas de celulose possuem um potencial estratégico devido à sua aplicação na melhoria de propriedades em diversos sistemas. Especificamente em nanocompósitos para aplicações em embalagens, filmes finos e peças de engenharia, o interesse na utilização da nanocelulose se deve ao fato que ela se aproveita de mecanismos característicos a todas as cargas e reforços nanométricos. Nesta escala, predominam alguns efeitos físicos como o incremento na força eletrostática e o

movimento browniano e outros mecanismos quânticos. Uma consequência disso é que, na produção de nanocompósitos, estes reforços comumente apresentam elevada razão de aspecto, resultando também em elevada área superficial. Essa característica é de interesse tecnológico por possibilitar elevada reatividade química e aumento na resistência mecânica, mesmo em baixas concentrações (da ordem de 5% g/g).

Existe uma ampla gama de materiais com aplicações variadas com potencial para atrair a atenção do setor industrial. Uma forma de aproximar a academia do setor produtivo e explorar esse potencial, é o direcionamento de projetos de pesquisa de alunos do setor industrial para a solução de problemas da própria indústria ou no desenvolvimento de novos materiais, de acordo com os seguintes nanomateriais e aplicações:

- Nano compósitos poliméricos – indústria de materiais poliméricos
- Compostos lamelares como fontes de liberação lenta e com fertilizantes – agroindústria
- Compostos lamelares intercalados com protetores solares – indústria de cosméticos
- Compostos lamelares como materiais adsorventes – indústria petroquímica e de cosméticos
- Compostos lamelares como materiais para tratamento de efluentes industriais – indústria de modo geral
- Compostos lamelares como catalisadores para reações de esterificação e transesterificação – indústria de biodiesel e de aromas industriais
- Compostos lamelares como cargas funcionais – indústria de tintas
- Compostos lamelares na imobilização de enzimas – indústria química e de alimentos.
- Compostos lamelares e fibrosos para a fabricação de membranas – indústria de papel e celulose e materiais curativos.

As nanoestruturas de celulose, por exemplo, possuem um potencial estratégico devido à sua aplicação na melhoria de propriedades em diversos sistemas.

O desenvolvimento da nanocelulose nos últimos anos tem sido impulsionado pelo constante aumento nos preços do petróleo e pelo alto consumo de energia, característico dos processos de obtenção de produtos químicos e da síntese de polímeros.

Ao utilizar processos e tecnologias apropriadas para a extração, conversão, modificação e caracterização, os nanomateriais estruturados de celulose podem ser aplicados em diversos novos materiais com substanciais benefícios econômicos e ambientais. A nanocelulose é uma tecnologia extre-

mamente versátil, com características únicas e inúmeras aplicações na indústria, tais como: reforçando papeis, como aditivos em materiais compósitos, em emulsões, como barreiras de oxigênio em embalagens de alimentos ou em dispositivos médicos.

Segundo dados do RISI (2014) – Resource Information Systems Inc. – o crescimento de nanotecnologias no mercado global tem sido bastante expressivo nos últimos anos, em especial os nanomateriais provenientes da celulose, que vem apresentando índices de crescimento anual superiores a 30%.

Apesar de países como os Estados Unidos nos últimos anos terem investido quantias substanciais em P&D de nanotecnologias a partir de celulose, algumas das quais já possuem diversas aplicações comerciais, o Brasil atualmente não possui uma participação significativa ou investimentos relevantes nessa área.

Nos Estados Unidos, o Serviço Norte Americano de Florestas – U.S. Forest Service em tradução livre – indicou, em estudo recente, que até 2020 é estimado que, dentre todas as nanotecnologias, a nanocelulose sozinha, poderá corresponder a um acréscimo de US\$ 600 Bilhões na economia norteamericana.

Especificamente em nanocompósitos para aplicações em embalagens, filmes finos e peças de engenharia, o interesse na utilização da nanocelulose se deve ao fato que ela se aproveita de mecanismos característicos a todas as cargas e reforços nanométricos. Nesta escala, predominam alguns efeitos físicos como o incremento na força eletrostática e o movimento browniano e outros mecanismos quânticos. Uma consequência disso é que, na produção de nanocompósitos, estes reforços comumente apresentam elevada razão de aspecto, resultando também em elevada área superficial. Essa característica é de interesse tecnológico por possibilitar elevada reatividade química e aumento na resistência mecânica, mesmo em baixas concentrações (da ordem de 5% g/g).

O desenvolvimento de novos produtos nanotecnológicos de alto valor agregado dentro de um esquema de Biorrefinaria Florestal (Figura 2) é de extrema valia para o mercado devido a utilização de matérias-primas renováveis e processos de fracionamento de material lignocelulósicos e com baixo impacto ambiental. Para isso, propõe-se o uso de técnicas não destrutivas como NIR (espectroscopia no infravermelho), NMR (ressonância magnética nuclear), XPS (espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios-X), MALDI-TOF (Matrix Associated Laser Desorption-Ionization - Time of Flight), espectroscopia Raman, entre outras. Essas técnicas serão transferidas à cadeia produtiva da indústria agroflorestal e madeireira, que é receptiva e carente de métodos destinados à melhoria da qualidade de seus produtos.

Aplicação de dispositivos que são todos baseados em reações eletroquímicas, o que dá a possibilidade de miniaturização e utilização de simples componentes eletrônicos para uma produção em grande escala e que são utilizados:

- Protetores inteligentes anticorrosivos,
- Em rádio diagnóstico e fotodinâmica,
- Na determinação de analitos clínicos importantes, como glicose, ácido úrico, ureia, etc.
- Sensores óticos e para gases tóxicos, como o H₂S e o HCN (vi) liberação programada de ativos, entre outros.

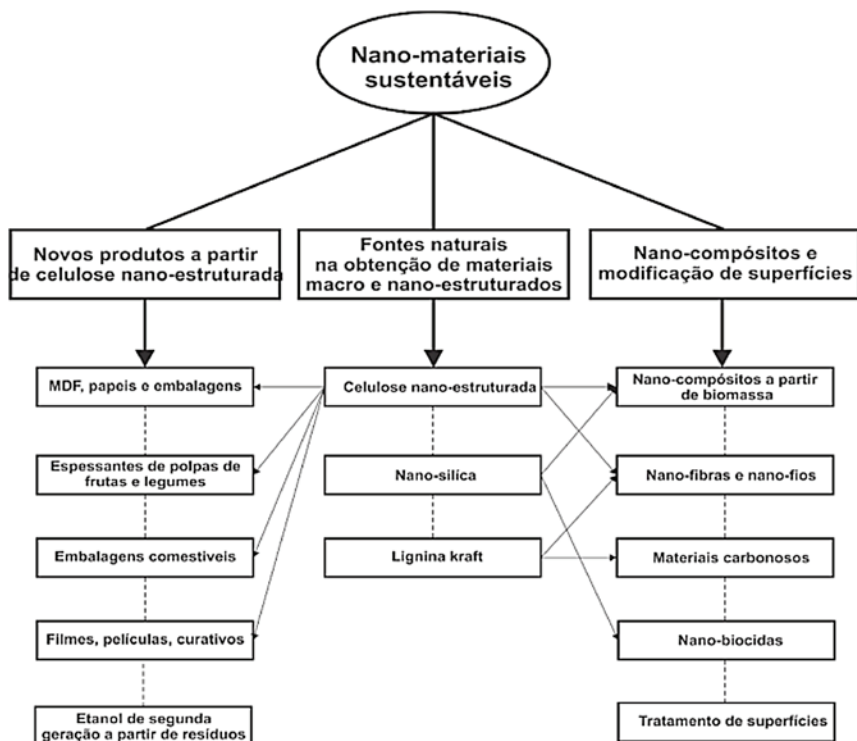


Figura 1. Fluxograma das atividades para produzir nanomateriais sustentáveis e biorrefinaria.

Em especial, a possibilidade de detecção e quantificação de gases tóxicos, como o H₂S tem um apelo bastante intenso na construção civil e petroleira. Além disso, a detecção de analitos de interesse clínica em tempo real, como a glicose e a ureia, podendo ser efetuada sem a necessidade de o paciente ir a um laboratório é de grande praticidade e alto apelo comercial.

Outro aspecto importante é possibilidade de aditivos em tintas anticorrosivas inteligentes, baseadas em polímeros eletroativos nanoestruturados que pode conferir uma alta durabilidade a diferentes materiais baseados em ferro. Esse material desenvolvido no Grupo, além de apresentar um imenso fator anticorrosivo também é solúvel em água sendo derivado de produtos naturais, o que sem dúvida é de grande interesse ambiental, uma vez que não são gerados nenhum tipo de produto tóxico ou solventes orgânicos.

Na área de nanotecnologias baseadas no nanomagnetismo e na spintrônica, que atua no mercado automotivo internacional em desafios tecnológicos, como o carro elétrico, o carro autônomo e interconectado e compartilhamento de energias eco-sustentáveis. Temos a expectativa de estabelecer nos próximos três anos estágios de doutorandos brasileiros em indústrias de alta tecnologia europeias e de promover Workshops no Brasil voltados ao setor automotivo de carros elétricos, com ênfase em usos e desenvolvimento de aplicações de sensores de campo magnético, transdutores magneto mecânicos e ferrofluidos.

Nanopartículas de nitretos de ferro com alta magnetização permitem obter ferrofluidos de melhor performance e de maior estabilidade química que os convencionais baseados em óxidos de ferro.

Nanomagnetos de ligas a base de Ni-Mn-Ga possuem alta fator de armazenamento de energia magnética, sendo alternativas mais baratas que as ligas de terras raras.

Existe uma ampla gama de materiais com aplicações variadas que podem a qualquer momento atrair a atenção do setor industrial. Existem inclusive alunos do setor industrial que terão seus projetos voltados para a solução de problemas da própria indústria ou no desenvolvimento de novos materiais.

Neste contexto, o mercado brasileiro de papel e celulose, um dos maiores do mundo, com um faturamento anual estimando na casa de R\$ 56 bilhões em 2013, a nanocelulose na perspectiva do mercado global, terá papel extremamente promissor e significativo no desenvolvimento dessa indústria e, conseqüentemente, no aumento do faturamento das empresas que estão investindo em P&D na área de nanociência e nanotecnologias.

Diante deste cenário de inovação, visando a busca de novos produtos com base tecnológica superior, é necessário o fortalecimento e a regulamentação da estrutura nacional acadêmica e laboratorial disponível para tais atividades de pesquisa.

Assim, uma vez definida a estrutura e o planejamento do LCNANO, bem como os investimentos que viabilizem a implementação desses projetos nas áreas de nanotecnologia, as empresas com participação no mercado tendem a absorver e apoiar em forma de parceria, técnica e financeira, essa iniciativa estratégica.

Laboratório Central de Nanotecnologia – LCNANO.

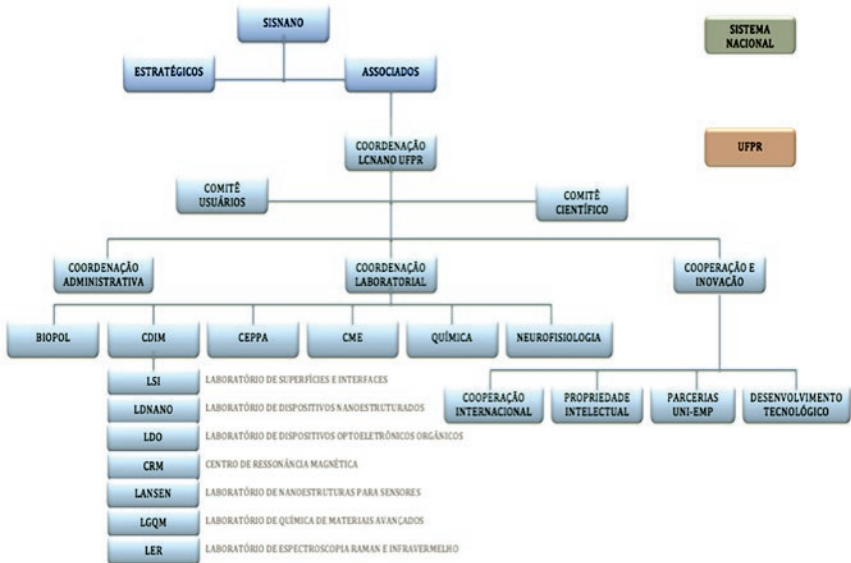
Há 102 anos a Universidade Federal do Paraná (UFPR) oferece à sociedade a sua competência para a formação de profissionais altamente qualificados e cidadãos produtivos que participam ativamente do desenvolvimento socioeconômico do nosso Estado e País. Reconhecendo o papel transformador da produção de conhecimento, desenvolvimento de tecnologia e inovação, a gestão atual (2009-2016) iniciou um processo de planejamento integrado da pesquisa em inovação na geração de patentes e no desenvolvimento de novos produtos e processos em parceria com o setor produtivo, bem como na prestação de serviços visando a qualidade e sustentabilidade socioambiental. Com isso, a UFPR tem contribuído decisivamente para o desenvolvimento científico, social e econômico do país.

O Laboratório Central de nanotecnologia na UFPR (**LCNano**) foi criado em 2012 por conjunto de grupos e laboratórios de pesquisa da Universidade Federal do Paraná (UFPR), que agregam competências em diversas frentes de atuação (Figura 1). Esta iniciativa foi uma resposta a indução do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) na criação do Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNano). Num primeiro momento o LCNano está constituído de uma infraestrutura de pesquisa voltada para o desenvolvimento de interesse em alimentos, águas, celulose, materiais e dispositivos e na aplicação destes materiais nas áreas de desenvolvimento de energias renováveis, sensores, saúde, nanobiotecnologia. Esta infraestrutura envolve diretamente 12 laboratórios e cerca de 50 pesquisadores de diferentes especialidades. Todas as suas atividades visam atender a crescente preocupação com o meio ambiente e demandas geradas pela conscientização das empresas em busca da qualidade de vida da população. Os serviços realizados com confiabilidade e excelência seguem a mesma política de qualidade e contam com ensaios acreditados pelo CGCRE/INMETRO.

O LCNano levou em conta, desde o início, um modelo inovador e participativo, que agregando a comunidade envolvida com nanociência e nanotecnologia em torno da gestão, operação e utilização do Laboratório Dentro da estrutura LCNANO temos como áreas de atuação a caracterização, síntese e fabricação de materiais nanoestruturados. Com tudo, a história pregressa de LCNANO evidencia que a área de caracterização possui, no momento, uma maior interação com o setor produtivo.

O LCNANO por meio do planejamento estratégico e *know-how* em P&D&I em nanotecnologia e nanociências, tem como objetivo apoiar o des-

envolvimento tecnológico das empresas do Estado do Paraná, estendendo às empresas brasileiras, assim como melhorar a qualidade dos produtos colocados nos mercados interno e externo, proporcionando as condições necessárias para aumentar a taxa de inovação dessas empresas.



Objetivo do LCNANO

- Incentivar atividades de pesquisa, desenvolvimento de novos produtos e a transferência de tecnologia entre as instituições de pesquisa e empresas. Mostrar a capacidade que o estado do Paraná possui para a instalação de novas indústrias com base em nanotecnologia e sustentabilidade;
- Promover a inovação em nanomaterias a partir do uso de recursos naturais renováveis;
- Formar, capacitar e fixar recursos humanos em Nanociência, Nanobio e Nanotecnologia;
- Promover a educação em nanociências, nanobio e nanotecnologias e sua divulgação;
- Ampliar e consolidar a pesquisa e inovação tecnológica nas suas principais áreas: nanofabricação, desenvolvimento e aplicação de nanopartículas, instrumentação em nanociência, nanotecnologia, processos em nanoele-

trônica, nanotoxicologia, energias renováveis e limpas; nanobiotecnologia, nanocompósitos, nanofármacos, nanosensores, nanoatuadores e materiais nanoestruturados;

- Beneficiar o aumento de valor agregado pela inovação;
- Através da inovação promover a obtenção de patentes em produtos e/ou processos;
- Disponibilizar a infraestrutura do LCNano e seus serviços à comunidade científica e para as empresas, ampliando a capacidade de inovação do estado do Paraná e do Brasil;
- Expandir e consolidar a infraestrutura “no estado da arte” para PD&I em nanotecnologias;
- Desenvolver programas de cooperação internacional, em particular junto aos países do MERCOSUL e da Europa.

Eixos estratégicos do LCNANO

O LCNano está inicialmente estruturado sobre quatro eixos horizontais de atuação e dois eixos transversais de caracterização. Os eixos horizontais são os seguintes:

- Nanociências no Desenvolvimento de Materiais (NDM)
- Nanotecnologia Aplicada a Saúde (NAS)
- Nanotecnologia Aplicada ao Desenvolvimento de Energias Renováveis (NER)
- Nanobiotecnologia Aplicada (NBA)

O NDM tem como foco a atuação na síntese e fabricação de diversos materiais: tais como nanopartículas metálicas, filmes epitaxiais magnéticos, nanoestruturas de carbono, nanofilmes de celulose e de hidrocolóides, nanoglicomateriais, materiais lamelares e compostos de intercalação e nanocompósitos poliméricos.

O eixo NAS tem por objetivo o desenvolvimento de aplicações de materiais nanoestruturados na área de saúde nos campos de diagnóstico, entrega de drogas de forma vetorizada, terapêutica e curativa.

O eixo de nanotecnologia aplicada ao desenvolvimento de energias renováveis (NER) consiste no desenvolvimento de células solares utilizando polímeros semicondutores.

O NBA visa à aplicação de materiais em escala nanométrica para aturem nas áreas de extração de nanofios de celulose aplicados no setor de alimentos, mais especificamente em frutas e legumes. Assim como no campo de saúde e

beleza no desenvolvimento de protetores solares a base de compósitos de cristais lamelares e moléculas orgânicas intercaladas.

Como eixos transversais já se encontram estruturados dois eixos, a saber:

Caracterização Morfológica, Química e Estrutural (MQE)

Caracterização das Propriedades Físicas e Atividades Biológicas (PFAB)

Estes eixos são fundamentais nas etapas de produção e desenvolvimento de nanomateriais e nanoestruturas para futuras aplicações.

O eixo MQE tem como objetivo dar suporte na caracterização por técnicas de microscopia eletrônica, microscopia de força atômica, por microscopia confocal, espalhamento de luz e raios-X, diversas técnicas de espectroscopias sejam ópticas ou eletrônicas e por técnicas de caracterização estrutural seja por difração de raios-X ou elétrons. (Centro de Microscopia Eletrônica).

De forma complementar o eixo transversal PFAB tem como foco suportar as caracterizações das propriedades físicas (ópticas, elétricas, magnéticas e térmicas) e químicas, assim como na caracterização por ensaios específicos da atividade biológica dos materiais e ambientais (ar, água, solos). (CDIM, CEPPA, Celulose e Papel, Centro de Raio X., Centro de Ressonância Magnética, Centro de Genômica e Espectroscopia de Massa).

O desenvolvimento de novos materiais e produtos através de: (i) teste em escala laboratorial e industrial o comportamento da celulose com adição de nanocelulose principalmente no desenvolvimento de embalagens. (ii) reforço com nanofibrilas novos produtos de fibras celulósicas, filmes, e diferentes tipos de papel para embalagens que requerem propriedades mecânicas compatíveis com sua utilização. (iii) embalagens comestíveis de frutas e legumes (recobrimento de frutas com filme de celulose, simplesmente por imersão da fruta em uma suspensão de nanofibrila; (iv) espessante de polpas de frutas e legumes (melhorar as propriedades de polpas). (v) compósitos biodegradáveis a partir de torta de mamona ou com amido (milho ou mandioca).

Os nanomateriais da celulose, tais como monocristais de celulose, denominado *wiskers* e nanofibrilas, têm atraído grande atenção devido à sua aplicação na melhoria de propriedades em diversos sistemas, variando dos nanocompósitos aos dispositivos optoeletrônicos. Novos compostos estão sendo desenvolvidos usando as propriedades originais da fibra celulósica, através de microfibrilas que podem ser obtidas pela hidrólise ácida de fibras da celulose ou de polpas celulósicas originárias de processos comerciais, sendo adicionadas a géis e às películas de polímeros como reforço. Melhorias significativas em propriedades mecânicas podem ser obtidas para as fibrilas derivadas de diversas fontes celulósicas, incluindo o algodão, a madeira e a celulose bacteriana. Esses desenvolvimentos

implicam que os compostos derivados dos produtos celulósicos podem mostrar benefícios similares àqueles dos nanocompósitos inorgânicos, além de serem provenientes de fontes renováveis, menos poluentes ambientalmente e biodegradáveis. A extração das microfibrilas de celulose da parede das células vegetais e o acesso de suspensões de microfibrilas com individualização parcial destas por tratamento mecânico conduzem à formação de uma rede de microfibrilas da celulose dentro de películas, que aumentam por sua vez o módulo de elasticidade.

Análise das propriedades dinâmicas e estruturais de biopolímeros, essencial ao desenvolvimento de biomateriais direcionados à área farmacêutica, biocossmética, médica, alimentícia e botânica/florestal, liberação controlada de fármacos, onde destacamos o equipamento de espalhamento de luz BROOKHAVEN, equipado com um goniômetro automático de comando digital BI200SM 2.0. A expertise que a UFPR tem na utilização de polissacarídeos naturais, oriundos da vasta biodiversidade brasileira quer de bactérias, algas, exsudatos, sementes e exoesqueletos, na forma natural ou derivada, pode ser direcionada para a preparação de materiais nano estruturados na forma de nanopartículas, filmes finos ou nanocompósitos.

Segmento de filmes e nanoestruturas magnéticas, onde está disponível a infraestrutura de Superfícies e Interfaces com a caracterização de materiais por técnicas de espectroscopia de elétrons estimulados por radiação de raios-X e radiação ultravioleta, utilizando um equipamento ESCA3000 da VG Microtech.

A análise de materiais nano estruturados ferromagnetos, ferrimagnetos e supercondutores, na forma de filmes finos, nanofios, nanopartículas, dentre outros, por técnicas de magnetometria, susceptometria e magnetotransporte, é utilizado um equipamento PPMS Evercool II da Quantum Design possui um design avançado expansível que combina características de diversos instrumentos. É o sistema mais versátil de sua espécie e com as mais altas taxas de variação de temperatura e campo magnético, permitindo a realização de medições rápidas e precisas. O equipamento é valioso para a pesquisa em materiais nano estruturados e suporte ao setor produtivo nas áreas de ímãs permanentes, ferrites, indústria de terras raras, supercondutores, ferrofluidos, siderurgia, gravação magnética, spintrônica, dentre outras.

O LDNANO e LGQM atuam no desenvolvimento de dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos orgânicos. Nos últimos anos, vem utilizando materiais nanoestruturados (nanotubos de carbono, nanoesferas de carbono, nanocascas de carbono, grafeno, nanopartículas de ouro, nanopartículas de ZnO no desenvolvimento de diversos dispositivos.

Os laboratórios estão organizados em centros (Centro de Microscopia ele-

trônica-CME, Centro de pesquisa e processamento de alimentos-CEPPA, Centro de Desenvolvimento e inovação de materiais e biomateriais - CDIM) e atuam em conformidade com os eixos fundamentais nas etapas de produção e desenvolvimento de nanomateriais e nanoestruturas para futuras aplicações.

Equipe científica

A equipe científica envolvida é da mais alta competência, composto para mais de 50 doutores e 80% são pesquisadores credenciados pelo CNPQ. Conta também com a participação de pesquisadores da Embrapa, Instituto Senai e outras instituições do Estado do Paraná.

A partir de 2013 foi implantado pela FIEP com parceria dos pesquisadores o **Roadshow** para aproximar os Institutos Senai de Tecnologia e Inovação com a Academia com visitas programadas em empresas do Estado do Paraná. Mais de 70 projetos de possíveis parcerias entre indústria, Senai no Paraná e instituições de ciência e tecnologia: este foi o resultado da série de eventos do I Roadshow da Rede de Pesquisa Industrial Aplicada.

As estratégias atuais a partir disso são: 1) Visitas as empresas com apresentação utilizando materiais digital e impresso para divulgação das potencialidades e oportunidades de parcerias para o desenvolvimento de produtos e processos buscando, sempre que possível, a inovação; 2) Realização de workshop junto a Federação das Indústrias do Paraná e Associação Comercial do Paraná com vistas de estabelecer novas parcerias e celebração de contratos em atendimento às demandas de mercado.

Como estratégia atual foi ampliar a cooperação técnica com o projeto europeu NANoREG, iniciado em 2014 com a realização do I workshop de Integração, com vistas a contribuir com a discussão nacional para a regulação e regulamentação da nanotecnologia nos seus aspectos de impactos ambientais e à saúde humana.

Com este cenário a se descortinar as empresas regionais e até nacionais que trabalham com desenvolvimento de materiais micro e nanoestruturados, nas áreas de alimentos, cosméticos, fármacos, dispositivos eletro-eletrônicos, controle ambiental (ar, água e solos), embalagens, papel e sistemas de purificação podem ser atendidos entre outros. Isto representaria uma ampliação maior que 160% do número de empresas que hoje solicitam o LCNANO, consolidando sua posição de centro de referência para a pesquisa e o desenvolvimento da nanotecnologia para a economia verde.

XV

EL POTENCIAL DE LA BIOMASA FORESTAL COMO FUENTE NO TRADICIONAL ENERGÉTICA PARA CHILE

Javier González Molina¹

I. Introducción

En el año 2009 se creó un Consorcio Empresarial, entre la Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, ENAP (Empresa Nacional del Petróleo y el Consorcio Maderero, para evaluar el Potencial de la Biomasa Forestal, como materia prima para producir energía o combustible., En esta presentación exponemos los principales resultados de las investigaciones realizadas, Se agradecen las colaboraciones de los Drs., Carmen Luz de la Maza, Horacio Bown, Jaime Hernández, Maximiliano Alonso, Sergio Donoso y René Carmona el Programa estuvo alimentado de 9 sub proyectos, en todos los ámbitos de la problemática.,

La Industria de Celulosa y Papel en Chile, produce hoy para ser vertida a la matriz energética, cerca de 860 MW, a base de desechos forestales y de procesos de transformación en la obtención de celulosa.

II. Implicancias de incorporar la biomasa en la matriz energética del país

Las consideraciones para la ubicación de una planta, para producir energía o combustible, a partir de de plantaciones bioenergéticas, se hace posible realizar una discusión general sobre los alcances sociales y ambientales, de la importancia que significa incorporar en la matriz energética de Chile la biomasa como insumo para producir energía.

Adicionalmente, el modelo económico y productivo dominante está asociado a un consumo energético creciente. Actualmente, alrededor del 80% de la energía que se utiliza a nivel mundial proviene de combustibles fósiles, cuya combustión produce

1. Profesor Titular, Departamento de Ingeniería en Madera y sus Biomateriales, jagonzal@uchile.cl

grandes cantidades de contaminantes (CO₂, NO_x, SO₂, material particulado, metales pesados, entre otros), generando una amenaza de carácter ambiental: cambio climático, adelgazamiento de la capa de ozono, deterioro de la calidad del aire urbano, lluvia ácida, smog fotoquímico, y otros. Por esto, los esfuerzos se focalizan en estudiar e impulsar las energías renovables y aumentar la inversión en tecnología.

Cabe señalar que las energías renovables suelen clasificarse en convencionales y no convencionales, según sea el grado de desarrollo de las tecnologías para su aprovechamiento y la penetración en los mercados energéticos que presenten. Como energías renovables no convencionales (ERNC) se definen aquellas fuentes primarias (recursos naturales disponibles) de energía que de forma periódica se renuevan a través de ciclos naturales por lo que pueden ser considerados como inagotables (por ejemplo aquella proveniente de viento, el sol, el mar o la tierra).

Esto es importante ya que las ERNC surgen como una respuesta social para reducir las emisiones de CO₂ y otros contaminantes de acción directa. Actualmente, la penetración de las ERNC en Chile ha sido difícil por distintas razones de índole económica, técnica, institucional, normativas y políticas; a diferencia de gobiernos de países industrializados que han creado un marco político y normativo que ha generado incentivos específicos al desarrollo y fomento de estas energías.

Como consecuencia de diferentes aspectos económicos, las centrales térmicas a carbón se han convertido en la tecnología de desarrollo de la primera década de este siglo, representando una parte importante del crecimiento del parque generador en los últimos dos años.

Como se señaló, en 2013, la capacidad total instalada nominal alcanzaba 18.278 MW. De la capacidad instalada, 64,5% corresponde a generación térmica, 34,5% corresponde a generación hídrica y un 1% a generación eólica. Cabe destacar sin embargo que a partir de la Ley

20.257 (introduce modificaciones a la ley general de servicios eléctricos, respecto de la generación de energía eléctrica con fuentes de energía renovables no convencionales – ERNC) se han impulsado nuevos proyectos, principalmente de energía eólica y minihidros, por lo que al 2013 la cifra de renovables ha crecido hasta el 2%.

III. Proyectos de generación eléctrica ernc por tecnología y estado del programa

El aumento de la demanda asociado al desarrollo de energía a base de biomasa puede enviar señales de mercado a los campesinos, que ven cómo sus ingresos pueden aumentar, favoreciendo y capitalizando la inversión y la mejora de sus cultivos, lo que conlleva la creación y estabilización del empleo en un sector productivo primario.

Lo anterior es importante, ya que históricamente, ninguna comunidad ha sido capaz de abandonar la pobreza sin acceso a la energía y, en particular, en el sector eléctrico. El problema subyacente es que los países se ven obligados a importar gas o petróleo para satisfacer sus necesidades energéticas, lo que les conduce indefectiblemente a un endeudamiento excesivo, un aumento de la inflación y a una devaluación del tipo de cambio.

Un ejemplo relacionado es el de Brasil, que es una potencia emergente en desarrollo y sus necesidades energéticas le han supuesto un balance comercial negativo por sus importaciones de petróleo. Ante esta coyuntura, ha apostado por el etanol y es hoy en día el segundo productor y primer exportador mundial, poniendo en marcha programas a largo plazo para desarrollar la producción que le han permitido reducir enormemente su dependencia energética del exterior y posibilitar así su desarrollo económico.

IV. Futuro de la Matriz Energética en Chile con respecto a las ERNC

Según Jiménez (2010), en los próximos años, se espera un aumento de participación de centrales a carbón, desarrollo hidroeléctrico importante, mayor uso de GNL en centrales de ciclo combinado y penetración creciente de ERNC. Pese a las bondades de la ERNC, técnicamente y también por los mayores costos de algunas de estas formas de energía, se considera que no podrán sostener por sí solas el desarrollo energético.

Las proyecciones internacionales son coincidentes: las fuentes convencionales (carbón y gas natural) seguirán liderando la producción de energía en el mundo, mientras que las ERNC mantendrán una participación menor. La baja participación esperada de las ERNC responde a la dificultad que tienen para competir con las formas convencionales de energía (tienen costos más altos, intermitencia y bajo factor de planta).

En Chile, la mejor opción de competir la tiene las minihidro, biomasa y algunos proyectos geotérmicos. Los proyectos eólicos tienen sus inconvenientes y la opción solar y mareomotriz se ve lejana. La velocidad de desarrollo de la ERNC es lenta, dada su baja escala, y posiblemente la potencia total instalada no represente más que 8% a 9% de la producción total de electricidad en Chile hacia el 2020

V. El futuro de los Renovales

En su primera etapa de ejecución, el proyecto identificó cartográficamente los renovales de *Nothofagus* con un alto potencial de utilización en las comunas de la región del Bio-Bio, y en la comuna de Curacautín en la región de la Arau-

canía. De este estudio, se determinó que la superficie de renovales potencialmente disponible alcanza a cerca de las 400 mil hectáreas, las cuales se concentran mayoritariamente en la cordillera de los Andes. La comuna de Curacautín destaca por su alta disposición de renovales con un alto potencial de utilización.

En una segunda etapa, el proyecto seleccionó 13 sectores con presencia de renovales del género *Nothofagus* en la comuna de Curacautín, en los cuales se instalaron parcelas de inventario silvícola con el objeto de caracterizar dasométricamente los sectores de estudio. En términos generales, los renovales del género *Nothofagus* en la comuna de Curacautín presentan una alta heterogeneidad producto de los diferentes esquemas de manejo y estados de desarrollo que presenta el bosque, presentándose rangos de Nha entre 487 a 2.773 árb/ha y Gha en el rango de 27 a 67 m²/ha. Los renovales poseen un stock en volumen en el rango de 158 a 551 m³/ha y una productividad media entre 4,3 a 13,4 m³/ha/año.

Posteriormente, se determinó la biomasa industrial presente en los renovales de estudio mediante la construcción y aplicación de funciones de biomasa de las tres especies de interés: Roble, Raulí y Coihue. De acuerdo a la información generada, la biomasa fustal promedio en los sectores de estudio fluctúa entre 107,8 y 394,3 ton/ha. En tanto, para el componente ramas se determinó que este fluctuó entre 13,1 a 54,2 ton/ha. Este último valor puede interpretarse como una estimación de la biomasa industrial presente en renovales de *Nothofagus* que potencialmente podría destinarse a la producción de biocombustibles. Sin embargo, en esta cifra no están considerados los descuentos de biomasa por venta de leña u otros productos, ni aquella utilizada como autoconsumo.

A raíz de lo anterior, el proyecto contempló dentro de sus objetivos, determinar la producción de desechos lignocelulósicos de interés industrial en predios intervenidos a escala operacional. De acuerdo a los muestreos realizados en cuatro sectores, la cantidad de desechos generados en promedio se situó entre 4,0 a 18,3 ton/ha.

5.1. Estimaciones de volúmenes en renovales

Para el parámetro Nha, el promedio general de todos los sectores es de 1.122 **arb/ha** (Tabla 1). El sector que presenta una mayor densidad corresponde a Angulo con un Nha de 2.773 árb/ha. El valor más bajo de Nha se obtuvo en el sector de Santa Julia con 487 árb/ha.

Para el parámetro Gha, el promedio general es de 38,1 m²/ha alcanzando el máximo en el sector de Angulo con 74,0 m²/ha, mientras que el mínimo valor se obtuvo en el sector de Los Quesos con 27 m²/ha. En general, en el caso del tipo Roble/Raulí, el número de árboles por ha es de 520, con 320 m³/ha, en el caso de Coihue son 780 con 510m²/ha.

Para el parámetro DMC, se determinó un promedio de 34,5 cm (considerando todos los sectores). El máximo para este parámetro se encuentra en el sector Santa Julia con un valor de 28,2 cm, mientras que el mínimo se obtuvo en el sector de Hueñivales con 12,9 cm.

La edad promedio de todos los renovales en la comuna de Curacautín (considerando los 12 sectores) es de 40,7 años, con un máximo de 52,5 años promedio en el sector de Santa Julia y un mínimo de 24,1 años promedio en el sector de Hueñivales. Es importante destacar que las muestras extraídas del sector Los Quesos no fueron posibles de medir, por lo que este sector no contará con edad, ni con la productividad. Según el tipo de formación, la edad promedio para las asociaciones de Roble-Raulí-Coihue (Doralisa y Mallines) se establece en 41,5 años, para la asociación de Roble-Raulí (Arriagada, Hueñivales y Ancarilla) la edad promedio es de 42 años. Los bosques puros de Roble (Santa Julia, Santa Filomena, Arnelo y Antaro) tienen una edad promedio de 41,6 años, mientras que los bosques puros de Raulí (San Agustín y Víctor Torres) 36,8 años, y para el bosque puro de Coihue (Angulo) que se encuentra representado por un único sector mantiene su valor promedio de edad de 41,3.

El promedio de la productividad media de la comuna de Curacautín es de 8,0 m³/ha/año, el máximo valor se encuentra en el sector de Angulo con 13,4 m³/ha/año, mientras que el valor mínimo lo obtiene el sector de Santa Julia con 4,3 m³/ha/año.

Tabla 1. Edad y productividad media de los sectores monitoreados.

Sector	Edad (años)	Vha (m ³ ssc/Ha) *	Productividad media (m ³ ssc/Ha/año) *
Doralisa	44.5	260.1	5.9
Arriagada	48.6	293.8	6.1
Angulo	41.3	552.0	13.4
Santa Julia	52.5	265.6	4.3
Los Quesos	-	161.1	-
San Agustín	25.2	273.0	10.8
Víctor Torres	47.4	274.7	5.7
Santa Filomena	41.4	285.7	6.9
Hueñivales	24.1	158.5	6.7
Anacarilla	48.7	328.9	6.9
Arnelo	41.7	392.3	9.5
Mallines	37.1	417.1	12.0
Antaro	40.3	348.2	8.7

(*) Volúmenes determinados según las funciones de volumen de Herrera y May (1976). Cubillos (1988) y Cubillos (1988b)

El informe se divide en cuatro secciones o capítulos: I. Descripción dasométrica y crecimiento del tipo forestal Roble-Raul ▪ Coihue en la comuna de Curacautín, Región de la Araucanía, II. Estimación de la biomasa industrial presente en los sectores de estudio, III.

Estimación del potencial de producción de desechos lignocelulósicos de interés industrial, y sus formas y costos de cosecha, y IV. Evaluación de los componentes agua, suelo y vegetación en ensayos de intervención a nivel operacional. En cada uno de los capítulos se describen los principales aspectos metodológicos y los resultados alcanzados durante el periodo de ejecución del proyecto.



VI. Aplicaciones de la Geomática

Los trabajos en Percepción Remota se han basado primordialmente en el análisis de las características espectrales de las imágenes (enfoque espectral) y el empleo de datos auxiliares, sin tener suficientemente en cuenta la relación espacial entre puntos contiguos, lo que es equivalente a identificar un objeto sólo por su color sin considerar textura, tamaño, forma, entre otras variables (Iturrate, 2007). Por lo anterior, se han desarrollado alternativas a la clasificación convencional de imágenes basada en píxeles individuales. Una de ellas es la clasificación orientada a objetos (*object oriented classification*), mediante la cual es posible incluir nuevos parámetros a considerar como las formas, las relaciones contextuales entre objetos y una jerarquía en la clasificación, aspectos que aumentan las capacidades de conocimiento remoto de la superficie terrestre (Arroyo et al., 2005; Galera et al., 2007). La base de esta clasificación es trabajar con objetos en vez de píxeles individuales (Álvarez, 2005), estos se definen como grupos de píxeles contiguos que poseen un comportamiento similar (Galera et al., 2007; Volante et al., 2007).

La calidad de la segmentación es importante, puesto que tiene directa relación con la precisión en los resultados de la clasificación (Chen et al., 2003). El Software Definiensprofessional®, líder en la implementación de este enfoque, considera varios tipos de algoritmos de segmentación, desde reglas simples de agregación de

píxeles hasta métodos muy sofisticados que integran varios algoritmos en una sola aplicación. Entre los algoritmos de mayor uso se puede mencionar:

- Segmentación tabla de ajedrez: divide el dominio de los píxel (filas y columnas) en objetos cuadrados (figura 5, arriba).
- Segmentación Quadtree-Based. Se basa en la delimitación de objetos cuadrados de distintos tamaños de acuerdo a criterios de homogeneidad.
- Segmentación por separación de contraste (Contrast Split). Se basa en la separación de objetos entre distintos grados de regiones claras u oscuras.
- Segmentación multi-resolución. Minimiza localmente la heterogeneidad de los objetos de la imagen. Integra píxeles en forma consecutiva para formar los objetos (figura 1, abajo).
- Segmentación basada en la diferencia espectral. Se basa en las diferencias observadas de los niveles digitales (intensidad) de píxeles vecinos.
- Segmentación Multi-umbral. Se basa en la definición de valores umbrales en el dominio de los niveles digitales.
- Segmentación de contraste de filtros. Se basa en la aplicación de filtros que son sensibles a los contrastes y los gradientes de los niveles digitales.

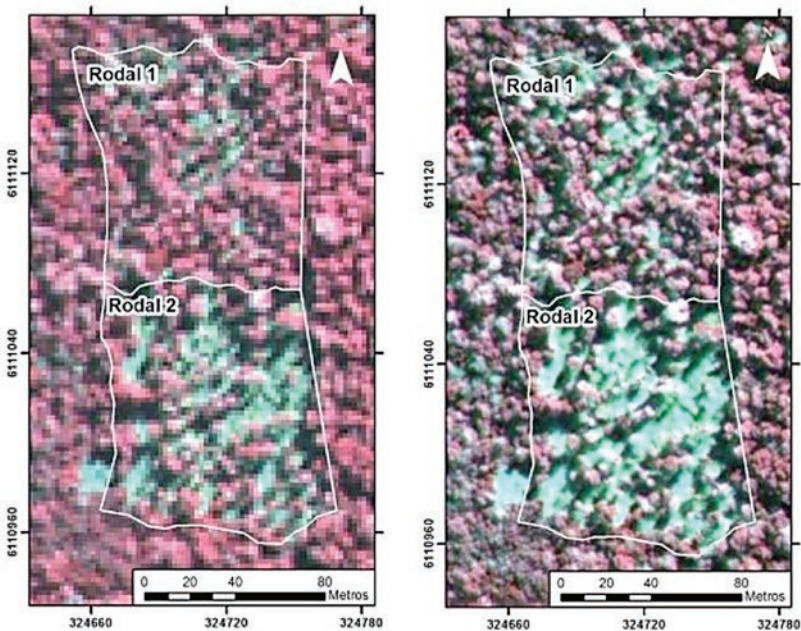


Figura 1. Ejemplos de segmentación. Fuente: eCognition, 2010.

El tamaño y la forma de los objetos resultantes del proceso de segmentación dependen de varios parámetros, los que se utilizan dependiendo de los resultados que se quieran obtener. *Definiensprofessional*® propone dos premisas a tener en cuenta para lograr una óptima segmentación: se debe producir objetos lo más grande posibles y se debe utilizar el mayor valor posible para el criterio “color”, manteniendo el criterio “forma” tan alto como sea necesario.

El parámetro de escala es un término abstracto que determina la máxima heterogeneidad permitida por los objetos resultantes (Definiens, 2006). Tiene estrecha relación con el tamaño de los objetos, pero no es el único determinante. El mismo parámetro de escala puede producir diferentes resultados cuando es usado en imágenes con distinta resolución espacial o cuando se utilizan distintas combinaciones para el criterio de homogeneidad.

Forma: Define la homogeneidad de la textura de los objetos. El valor de forma no puede ser mayor que 0,9 (la suma de color y forma es igual a 1). Utilizar un valor alto en el criterio de forma puede reducir la calidad de los resultados de la segmentación

Suavidad: Se utiliza para optimizar los objetos en relación a la suavidad de sus bordes.

Compactación: Optimiza los objetos resultantes en relación a su solidez general. Varía indirectamente con el criterio de suavidad, la suma de ambos es 1.

Una vez obtenido los objetos se pasa a la fase de clasificación, la cual funciona conceptualmente de la misma forma que en enfoque píxel a píxel.

Diversos autores demuestran la superioridad del método de clasificación orientado a objetos en comparación con los métodos tradicionales basados sólo en los píxeles, en especial si se trata de imágenes de alta resolución (Benz *et al.*, 2003; Castilla, 2003; Leukert *et al.*, 2003; Mathieu *et al.*, 2007; Shiba y Itaya, 2006).

VII. Plantaciones dendroenergéticas

Las principales actividades del período dicen relación con el seguimiento de las plantaciones efectuadas en temporadas anteriores y el levantamiento de información de campo relativa a la generación de biomasa. Se da cuenta del estado de avance en sanidad vegetal, para la especie *Arundo donax L.*, las cuales se encuentran en etapa de análisis de resultados. El Proyecto “Desarrollo de Cultivos Bioenergéticos” se encuentra en una etapa de preparación y difusión de resultados.

En 2013 se realizó un muestreo destructivo de *Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii*, a la densidad de 3333 plantas por hectárea. Con esto se completa el levantamiento de información de campo para los distintos tratamientos (densidades de 3333, 5000 y 8000 plantas por hectárea, y segundo periodo de crecimiento). En la

actualidad se encuentra en desarrollo el proceso de secado y medición de biomasa (materia seca) de las muestras extraídas. Los modelos alométricos de estimación de biomasa, se encuentran en etapa de diseño metodológico.

En el mismo período, se concluyó el proceso de secado y medición de biomasa (materia seca) de las muestras de *Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii*, extraídas en 2013 (densidad de 8000 plantas por hectárea y primer periodo de crecimiento). Los modelos alométricos de estimación de biomasa, se encuentran en etapa de diseño metodológico. También se realizó la cosecha y procesamiento de las muestras de *A. donax*, que consistió en la medición de altura, DAC (diámetro a la altura del cuello) y peso seco, de una muestra representativa para los distintos tratamientos de control del áfido *Melanaphis donacis*.

Los cuatro predios ubicados en la VIII región se encuentran inventariados. También se realizaron los muestreos destructivos necesarios para la generación de modelos alométricos de estimación de biomasa de las especies *A. dealbata*, *A. mearnsii* y *A. melanoxylon*. Resta por concluir el procesamiento de las muestras y diseñar los modelos alométricos para plantaciones de 2 y 3 años de crecimiento. El ensayo con *Arundo donax*, establecido, fue cosechado exitosamente y se amplió la superficie de cultivo para el siguiente periodo de crecimiento.

La principal actividad de este proyecto dice relación con el control y seguimiento de las plantaciones efectuadas en temporadas anteriores. El Proyecto “Desarrollo de Cultivos Bioenergéticos” se encuentra en una etapa de obtención y difusión de resultados. Se combinó esfuerzos con el proyecto #9 de BIO-COMSA para ejecutar plantaciones energéticas en la zona Centro-Sur de Chile en los sitios seleccionados. Se instaló estación meteorológica en la Estación Experimental Antumapu. RM.

7.1. Plantaciones realizadas

En densidades de 3.000 y 5.000 plantas ha⁻¹, salvo en el Campus Antumapu donde se utilizaron densidades de 5.000 a 15.000 plantas ha⁻¹

Estación Experimental Antumapu. Superficie Plantada: 5.5 ha con cierre perimetral. Especies:

Acacia dealbata. 950 plantas. En speedling y cubículos de 100 cc. Plantación 9 y 10 de Noviembre de 2010.

Acacia mearnsii. 950 plantas. En speedling y cubículos 100 cc. No se han plantado aún.

Acacia melanoxylon. 950 plantas. En speedlings de 50 unidades, cubículos de de 150 cc. Plantación de Octubre de 2011.

Eucalyptus globulus. 13.109 plantas. En speedlings de 84 plantas, cubículos de 100 cc de Octubre de 2011.

Eucalyptus camaldulensis. Plantas de 60 cm, bolsas de 10 x 15 cm de Septiembre de 2011.

Arundo donax. 450 plantas de 40 cm en bolsas de 10 x 15 cm. Noviembre 2010.

Plantas madre de diversas especies de gramíneas en bolsas de 10 x 15 cm.

Penisetum chilensis (4). *Penisetum orientalis* (4). *Penisetum macrourum* (2). *Penisetum setaceum rubrum* (2). *Penisetum purpureum* (2). *Panicum virgatum* "Heavy metal" (4). *Miscanthus sinensis* "San Gabriel" (4). *Miscanthus sinensis* "Panquehue" (4). *Miscanthus sinensis verdi* (2). *Miscanthus sinensis variegata* "Eulalia" (2). *Paspalum ahumanii* (4). *Paspalum sp.* (2). *Paspalum exaltatum* (2). *Setareum rubrum* (4). Noviembre 2010.

Estación Experimental Pantanillos. Dr. Justo Pastor León. Comuna de Empedrado. VII Región

Superficie plantada: 2.618 m². Considera cierre perimetral. Tipo general de suelos: Serie Constitución. Suelo de origen metamórfico, de textura franco-arcillo-arenosa, profundos pero de drenaje imperfecto, bajo contenido de materia orgánica y compactación en los primeros centímetros del perfil (CIREN. 1996). Especies:

Acacia dealbata. 200 plantas de 60 cm del altura en speedlings de 84 unidades, cubículos de 100 cc.

Acacia melanoxylon. 200 plantas de 30 cm de altura en speedling de 50 unid., cubículos de 150 cc.

Acacia mearnsii. 200 plantas de 60 cm en speedlings de 84 unidades, cubículos de 100 cc.

Robinia pseudoacacia. 200 plantas de 30 cm. speedlings de 50 unidades, cubículos de 150 cc.

Eucalyptus globulus. 200 plantas de 50 cm. speedlings de 84 unidades y cubículos de 100 cc.

Predio San José Lote B. comuna de Los Ángeles. VIII Región

Superficie plantada: 26 ha. Considera cierre perimetral. Especies:

Primera Etapa: Las plantas fueron obtenidas del vivero Proplantas Ltda. Fueron producidas en speedlings de 104 unidades por caja, a raíz cubierta en

cubículos de 90 cm, micorrizadas, sin presencia aparente de plantas y enfermedades. La primera etapa de plantación se realizó en julio. 2011.

Acacia dealbata. 15.391 plantas. 148 bandejas.

Acacia mearnsii. 13.730 plantas. 132 bandejas.

Acacia melanoxylon. 20.530 plantas. 198 bandejas.

Eucalyptus globulus. 13.109 plantas. 126 bandejas.

Eucalyptus camaldulensis. 13.770 plantas. 133 bandejas.

Robinia pseudoacacia. 12.566 plantas. 121 bandejas.

Populus spp. 14.597 plantas. 141 bandejas.

Fundo los Castaños. Sector Cholguán Grande. Comuna de Yungay. VIII Región

Superficie plantada: 5.64 ha. Especies:

Acacia dealbata. 3.122 plantas.

Acacia mearnsii. 6.745 plantas.

Acacia melanoxylon. 1.795 plantas.

Robinia pseudoacacia. 5.287 plantas.

El proyecto#6 participó activamente en la selección de los lugares de plantación. en los diseños experimentales, supervisión de la preparación de suelos y plantaciones, así como en el seguimiento y control de las mismas.



El Proyecto “Desarrollo de Cultivos Bioenergéticos” comienza una etapa de obtención y difusión de resultados. Formulación de un modelo de simulación de la productividad de especies dendroenergéticas en Chile. Se formuló en Stella® un modelo 3-PG adaptado de manera de predecir la productividad de especies dendroenergéticas en Chile.

Configuración e ingreso de información de archivos raster en formato Idrisi a base de datos y desarrollo de herramientas que permitan capturar posición geográfica (latitud y longitud) desde interface de google maps para generar imá-

genes KMZ con resultados de zonificación. Visita y seguimiento plantación en Estación Experimental Pantanillos, Dr. Justo Pastor León, Comuna de Empedrado, VII Región (Pantanillos).

Configuración e ingreso de información de archivos raster en formato Idrisi a base de datos y desarrollo de herramientas que permitan capturar posición geográfica (latitud y longitud) desde interface de google maps para generar imágenes KMZ con resultados de zonificación.

Se inició un estudio observacional en la Región Metropolitana para describir las posibles plagas de artrópodos en *A. donax*. Se visitaron y seleccionaron cuatro áreas de muestreo, se confeccionaron cuatro tipos de trampas y redes entomológicas para realizar la colecta de los ejemplares. El crecimiento proyectado a base de la información disponible, es de aproximadamente 28 m³/ha, es decir, al cabo de 4 años de rotación, un peso físico seco de cerca de 60 ton/ha.

VIII. Modelos Híbridos de crecimiento

Los modelos forestales de crecimiento y rendimiento son rutinariamente utilizados para la gestión de plantaciones intensivamente manejadas en Chile, Uruguay, Brasil, Nueva Zelanda, Australia y Sudáfrica, entre otros.

Un modelo muy sencillo que permite ilustrar los requerimientos básicos de información en los modelos de crecimiento fue desarrollado por Methol (2001) para *Pinus radiata* en la región Central de la Isla Norte de Nueva Zelanda. En él se puede apreciar los elementos básicos para llevar a cabo una simulación. En primer lugar se encuentran los valores que describen el estado del rodal en un punto del tiempo (e.g. 5 años) como son la altura dominante (e.g. 5 metros), el área basal (e.g. 6 m²/ha), el número de árboles por hectárea (e.g. 1100), el índice de sitio (e.g. 32.5 m) y la edad hasta la cual se pretende proyectar la simulación (e.g. 30 años). En segundo lugar, se encuentran las prescripciones de las intervenciones silviculturales que ocurrirán a lo largo de la vida del rodal. A modo de ejemplo este modelo permitiría simular el desarrollo de un rodal sujeto a un régimen que considere dos raleos, a los 7 y 12 años reduciendo las densidades hasta 600 y posteriormente hasta 300 árboles por hectárea.

La simulación entonces permitiría describir como los parámetros del rodal van cambiando a lo largo del tiempo. Así si la edad de cosecha fuera de 22 años se podría estimar que se extraerán 287 árboles por hectárea, con un diámetro promedio a la altura del pecho de 43.1 cm. con una altura dominante de 35.2m, un área basal de 41.9 m²/ha, y un volumen de 480 m³/ha.

Generalmente los modelos de crecimiento se utilizan para predecir los

rendimientos por tipo de producto que se obtendrán posterior a los raleos y al momento de la cosecha final. También se utilizan en la actualización de inventarios y para encontrar los mejores regímenes de manejo para diferentes tipos de bosques (croptypes). Estos modelos no se utilizan en forma aislada, sino que requieren información adicional para generar resultados que puedan ser utilizados en la toma de decisiones. Los modelos de crecimiento y rendimiento, la descripción de los rodales que componen el patrimonio y los modelos de patrimonio (forest estate models), son herramientas comúnmente utilizadas para predecir la disponibilidad actual y futura de madera para consumo industrial.

El proyecto Modelo Nacional de Simulación de Pino radiata y Eucalipto, puede simular podas y raleos, además de distintas técnicas de establecimiento de plantaciones y utilización industrial. También dispone de un módulo de evaluación económica. La base de información con la cual se han obtenido los modelos implementados en el simulador Insigne, proviene de los ensayos instalados y medidos desde 1992 a la fecha (FONDEF D97/1015. FONDEF D01/1021). EUCASIM, por otro lado, permite proyectar crecimientos y rendimientos entre los 3 y los 20 años para *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*. Ambas herramientas, INSIGNE y EUCASIM, son rutinariamente utilizadas en la planificación silvícola y de producción de las empresa forestales auspicantes del convenio.

En Nueva Zelanda. ATLAS FORECASTER consiste de un modelo de crecimiento a nivel de rodal y otro a nivel de árbol individual para *Pinus radiata*. La base de proyección de crecimiento es la modelación de los cambios en una lista de árboles individuales, incluyendo tamaños y factores de calidad como densidad de la madera, altura de poda y DOS (diameter over stubs), como también la posición y tamaño de las ramas no podadas. ATLAS FORECASTER también incluye modelos de optimización de trozado. Este modelo incluye modelos probados en la industria desde hace más de 20 años en ese país.

En Australia. CSIRO ha desarrollado una serie de herramientas para satisfacer la creciente demanda por información precisa y confiable en la industria forestal y en la gestión de recursos naturales. Los modelos que son pertinentes a crecimientos y biomasa son: 3-PG2, CABALA y FullCAM. Todos estos modelos son híbridos en el sentido que combinan la representación mecánica de procesos fisiológicos con relaciones empíricas comúnmente observadas. Australia es claramente el país que lleva la vanguardia en este tipo de modelos.

El modelo 3-PG2 (Physiological Processes Predicting Growth) fue desarrollado para zanjar las diferencias entre modelos convencionales de crecimiento y rendimiento, y modelos basados en procesos de balance de carbono. Permite

predecir biomasa, volumen de fustes, área basal y tasas de uso de agua. Entre otros. Es un modelo ampliamente utilizado en todo el mundo con gran éxito y aceptación probablemente debido a su facilidad de uso y resultados razonables. En Chile está siendo implementado por Forestal Arauco como medio para predecir de mejor forma biomasa y secuestro de carbono.

El modelo FullCAM (Full Carbon Accounting Model), desarrollado por la Australian Greenhouse Office (AGO), comprende dos modelos empíricos que permiten seguir los cambios en biomasa, litera, carbono en el suelo y productos cosechados bajo sistemas agrícolas y/o forestales. CAMAg es usado para predecir cambios en C en sistemas agrícolas, mientras que CAMFor para predecir cambios en C en ecosistemas forestales. FullCAM puede ser configurado para trabajar por sí solo o en conjunto con modelos de procesos independientemente validados: (i) crecimiento de plantaciones (3-PG. Landsberg and Waring. 1997); (ii) descomposición de hojarasca (GENDEC. Moorhead and Reynolds 1999). y; (iii) Descomposición de carbón del suelo (ROTHC. Jenkinson 1990). Por lo tanto. FullCAM puede ser usado empíricamente cuando existe información histórica de crecimientos en la región donde es aplicada. o como una herramienta predictiva donde no hay información disponible.

IX. Caracterización Tecnológica de las Maderas

El objetivo es caracterizar las principales biomásas lignocelulósicas que podrían emplearse en aplicaciones bioenergéticas en Chile, particularmente en biocombustibles líquidos. Algunos de los objetivos de este proyecto se han realizado en conjunto con el proyecto N° 8. Por ejemplo, el diseño de una unidad de pre-tratamiento de biomasa para la producción de Biodiesel, se entregó en Julio del año 2012. Los principales resultados obtenidos por este proyecto son originales para Chile y servirán como una primera referencia sistemática de análisis para biomásas leñosas, los cuales quedarán plasmados en un libro que está en fase de corrección antes de ser enviado a imprenta.

El Laboratorio de caracterización de biomasa, un resultado mejor que el originalmente planteado de potenciar el actual laboratorio de Química de la Madera. Esta modificación, además de potenciarlo, independiza las actividades de caracterización energética contempladas en el proyecto. En esta área habilitada de 25 m2 se encuentra el calorímetro adquirido en el proyecto y otros equipos complementarios menores, tales como: horno de calcinación, balanza analítica y digital, estufa de secado, agitador orbital, refrigerador, espectrofotómetro UV-Visible y Centrífuga, los que permiten hacer la caracterización energética y parte de la caracterización química.

Este proyecto extendió su vigencia respecto de la programación original debido a que tuvo que adecuarse a la disponibilidad de biomasa proveniente de la cosecha de los cultivos energéticos instalados por BIOCOMSA, lo que recién ocurrió a fines del año 2012 principios del año 2013. Además el proyecto tenía contemplado viajes a Alemania a la empresa CHOREN Industrie GmbH para evaluar las características y pretratamientos de biomasa para la producción de Biodiesel de Segunda Generación. Debido a lo anterior se han establecido a través del proyecto N ° 8 contactos con otras empresas que trabajan en el ámbito de los biocombustibles. Se obtuvo la información analítica básica de caracterización de las biomásas leñosas disponibles más relevantes en el país, las que están disponibles en la forma de fichas por cada una de ellas, así como de otras biomásas con que se contó en el transcurso del proyecto.

Toda esta información quedará escrita en el libro “Caracterización física, química y energética de Residuos Lignocelulósicos del sector forestal productivo en Chile”. Se mantienen contactos con (CENER) y (CIEMAT) y del Centro Tecnológico CARTIF ambos en España. Detalles más precisos y la elaboración de los resultados se encuentran en las memorias, publicaciones en Congresos y en los registros del laboratorio. En algunos parámetros aparece la nomenclatura E.E que corresponde a determinación en proceso. Las biomásas que se encuentran indicadas en las tablas de resultados, exponen las principales determinaciones que caracterizan la biomasa de la siguiente manera:

1. Análisis Físico: consta de la determinación de la densidad aparente y la densidad básica y la humedad a la que fueron calculadas. La diferencia principal es que la densidad aparente es la relación entre la masa y el volumen sólido y el material sólido, ambos a un contenido mismo de humedad. Y la densidad básica corresponde al material sólido anhidro y el volumen en estado verde (saturado de agua).

2. Análisis químico: Nos da una referencia de componentes (en porcentaje) que está compuesto el material para sus distintos usos, por ejemplo la cantidad de lignina soluble. Esta información contempla el valor máximo y mínimo de las determinaciones realizadas por los analistas.

3. Análisis Energético: la tabla se indica los valores de las capacidades caloríficas superiores de cada muestra, cuyo valor está en un rango de la totalidad determinada, los extremos (mayor y menor) medidas en el equipo indicado en el protocolo. No obstante se dispone de información específica de los poderes caloríficos superiores de las muestras específicas que consideran en algunos casos su localidad.

4. Composición elemental. En esta descripción, se hace una medición de elementos inorgánicos no metálicos, es decir C. H. O. S y Cl. Estas composiciones están dadas en porcentajes.



Especie	<i>Pino radiata</i>
Origen	Arauco
Tipo Biomasa Madera	Tipo Biomasa Madera
Extraíbles	1.3-2.5
Cenizas %	0.61-0.63

Especie	<i>Eucaliptus nitens</i>
Origen	La Maravilla
Tipo Biomasa	Biomasa Madera
Densidad Aparente	0.09-0.13
Poder Calorífico [cal/gr]	4523.54-4585.23
Tipo Biomasa	Corteza
Cenizas %	0.27-0.33
Poder Calorífico [cal/gr]	4732.90-4798.06

Especie	<i>Eucaliptus globulus</i>
Origen	La Maravilla
Tipo Biomasa	Madera
Densidad Aparente	0.11-0.15
Poder Calorífico [cal/gr]	4402.29-4499.73

9.1. Residuos de especies nativas

Las muestras corresponden a los residuos que quedan de la intervención para la obtención de madera aserrable y metro ruma de bosque adulto y renovales del tipo forestal “siempre verde”. Además se entrega información de otras especies nativas.

Las características de dichos materiales son mostradas en las fichas siguientes.

Especie	Avellano
Origen Corteza	Lanco
Tipo Biomasa	Corteza
Densidad Aparente	0.11-0.15
Poder Calorífico[cal/gr]	4833.32-4838.24

Especie	Olivillo
Origen Madera	Lanco
Tipo Biomasa	Madera
Densidad Básica	0.29-0.35
Poder Calorífico [cal/gr]	5174.05-5240.08



En la actualidad la gran parte de la energía utilizada en el mundo y en Chile proviene de los combustibles fósiles, caracterizados por ser contaminantes y por dañar el medio ambiente. Por ese motivo es de gran interés buscar formas alternativas de energía más limpias tales como las energías renovables no convencionales (ERNC).

Esta memoria se centra en la energía que puede proporcionar la biomasa residual de nuestro país y la manera más eficiente para aprovecharla. La aplicación más común de la biomasa es la combustión directa, aunque existen tecnologías (gasificación, pirólisis, fermentación alcohólica y digestión anaeróbica) que transforman la biomasa en otros combustibles.

De la caracterización química de las biomásas residuales la cantidad de lignina en la muestras varía desde un 15,79% hasta un 32,55%, la celulosa desde un 34,29% hasta un 55,57%, la hemicelulosa desde un 22,04% hasta un 45,14%, los extractos desde un 1,16% hasta un 25,36%, la ceniza desde un 0,13% hasta un 2,46%. De la caracterización energética los valores del poder calorífico de las muestras estudiadas fueron desde 3902 cal/gr hasta 5086 cal/gr.

Los resultados de la caracterización física corresponden a los valores de la densidad básica que vario desde 0,33 gr/cm³ hasta 0,56 gr/cm³, la densidad aparente desde 0,06 gr/cm³ hasta 0,19 gr/cm³ y la humedad desde 5,25% hasta 67,24%.

X. Principales impactos sociales de la producción de biomasa forestal

Los impactos sociales directos importantes de la producción de biomasa forestal son el resultado, tanto de los efectos de la reducción de la cobertura vegetal, como los impactos físicos de estas operaciones. La magnitud del efecto dependerá de las condiciones del sitio (el suelo, la topografía, la lluvia), las características ambientales (el tipo de plantación o de bosque, la concentración de los árboles, las especies y poblaciones de la fauna), y los métodos de cosecha y extracción. Estos impactos redundan a su vez en la calidad de vida de las poblaciones humanas del entorno. El análisis de los impactos que se presenta aquí es, necesariamente, muy general.

10.1. Cosecha y raleo

La cosecha del recurso forestal tiene un efecto directo sobre los recursos acuáticos. Después de la cosecha, se aumenta el flujo de las aguas superficiales, produciendo crecientes más grandes y rápidos en los ríos durante las tempestades. El menor grado de infiltración y renovación de las napas freáticas, y la mayor evaporación y flujo después de las tempestades durante la temporada lluviosa, afecta el flujo básico, y, por tanto, se reduce el caudal durante los períodos más secos. La mayor erosión causa más sedimentación en los ríos y lagos.

Los combustibles, los lubricantes, los pesticidas y las otras sustancias que se usan en las operaciones forestales, pueden contaminar las aguas superficiales y freáticas. Lo anterior normalmente afecta la productividad agrícola y de hortalizas de pequeños propietarios.

La producción de biomasa al incluir proceso de cosecha forestal afecta el clima, y también la calidad del aire. Los problemas principales que se relacionan con las operaciones de cosecha forestal, y que influyen en la calidad del aire, son el polvo y el humo.

El humo producido por la quema de los desechos puede causar problemas severos de contaminación atmosférica. Asimismo, la acumulación de desechos después de la tala de los árboles aumenta el peligro de incendios. La deforestación aumenta los niveles de dióxido de carbono atmosférico, que es un gas de invernadero, y contribuye al calentamiento global.

La materia orgánica muerta se descompone rápidamente y los nutrientes son aprovechados, en seguida, por la vegetación y los organismos del suelo. La tala incontrolada o completa, interrumpe este proceso, eliminando la biomasa que contienen la mayor parte de los nutrientes, y trastorna los microorganismos del suelo. Los caminos mal ubicados o que se construyen en las pendientes, causan deslizamientos de la tierra, derrumbes, erosión y sedimentación.

El proceso de cosecha causa efectos en la vegetación, que son más amplios que la remoción de los árboles objetivo. Durante el proceso de tala, se averían o se destruyen los otros árboles y la vegetación, por la acción de los árboles al caerse, de los tractores y de los otros vehículos.

Si la cosecha crea claros grandes en la cubierta, importantes áreas de vegetación natural pueden ser destruidas. La tala de los bosques atenta contra la fauna, destruyendo su hábitat, cortando los corredores de migración, aumentando la presión de la caza ilegal, causando problemas de ruido y contaminación, y produciendo cambios hidrológicos que influyen en los sistemas acuáticos.

10.2. Manejo de plantaciones y bosques

El manejo adecuado de plantaciones y bosques naturales puede y debe apoyar la producción sustentable de una gran variedad de productos, entre ellos la biomasa, preservar la capacidad del bosque para prestar servicios ambientales, conservar la biodiversidad y, proveer los medios de subsistencia para mucha gente (incluyendo poblaciones indígenas, o comunidades que representan patrimonios culturales en peligro de extinción).

Al mantener un área bajo la cobertura del bosque, se controla la erosión, se estabilizan las pendientes, se moderan los caudales de los ríos, se protegen los ambientes acuáticos, se mantiene la fertilidad del suelo, se preserva el hábitat de la fauna, y se obtienen productos forestales no igníferos, que son importantes para las economías y hogares locales.

Los impactos más dramáticos se originan en el roce o limpieza de los bos-

ques, en cambio, los efectos de las otras actividades que trastornan los procesos ambientales, o cambian el carácter del bosque, son más sutiles, pero importantes. El roce en gran escala puede ser el resultado directo o indirecto de las actividades forestales (extracción de biomasa, construcción de caminos) y no forestales, como el desarrollo de infraestructura (represa y caminos), programas de reasentamiento y proyectos agrícolas (cultivos y ganado).

Los impactos menos dramáticos pueden ser causados por el uso de la tierra y los recursos del bosque con menos intensidad, incluyendo: la cosecha selectiva de varias especies de árboles, la agroforestación, las operaciones de ganadería en pequeña escala, el corte de leña y la recolección de otros productos forestales. Estas actividades posiblemente no alteren la cantidad de vegetación, o cobertura vegetal, pero pueden cambiar la calidad del bosque, porque influyen en la distribución y composición de las especies, y los procesos ambientales.

10.3. Principales impactos biofísicos y sociales y sus medidas ambientales

Una vez identificadas las actividades, se señala el aspecto ambiental involucrado y a continuación los impactos ambientales y sociales derivados de esa actividad. Finalmente, se propone las medidas de mitigación. Impactos ambientales y sociales relacionados con la *extracción de biomasa y apertura de fajas para caminos* (volteo y desrame) para obtención de biomasa. Actividad Aspecto Ambiental Impactos Ambientales Impactos Sociales

Extracción de biomasa y Apertura de fajas para caminos: Cosecha/Raleo/Volteo/desrame:

- Erosión, Compactación, Sedimentación, Aumento de temperatura, Variación del caudal, Turbiedad,
- Contaminación (agua, suelo)
- Alteración de flora y fauna, Modifica paisaje y belleza escénica (-)
- Fuente de empleos (+), Compite con uso de leña (-)
- Posible daño a la salud humana (-)

Durante la mantención de los caminos, construir salidas de agua a lo largo de éste, para permitir el escurrimiento de las aguas lluvias. Durante la mantención de calzadas, cunetas y alcantarillas dejar residuos fuera de los cauces, limpiando entradas de desagües, colectores y zanjas abiertas. Mantener medidas contra la erosión (tales como estabilización de taludes) especialmente antes de la temporada de lluvias.

Donde sea posible disminuir el ángulo de los taludes de corte, construir en terrazas en aquellos taludes más altos, colocar camellones de fil-

traje sobre los derrames, estabilizar mecánica y biológicamente los taludes. En áreas que presenten riesgos de deslizamiento, utilizar estructuras en la estabilización de taludes.

Los residuos personales de los trabajadores, tales como: restos de alimentos, envases, papeles, y otros, deben ser retirados diariamente del área de trabajo, y su disposición final debe ser en lugares especialmente habilitados.

XI. Perspectivas

Chile posee una gran riqueza forestal, más de 16 millones de ha entre plantaciones y bosque nativo, con un crecimiento total de más de 57 millones de m³/año, si consideramos solo el porcentaje de bosque nativo, que puede ser manejado. Además existe una producción de deschos industriales y de cosecha, cercano a los 6 millones de m³ anuales. Cualquier proyecto de energía, sea combustible o gasificación para preparar después biodiesel son factible.

El país debe incorporar más fuentes no contaminantes de producción de energía si desea mantener su tasa de desarrollo económico y social.

Referencias

1. Gonzalez Molina, Javier, 2014. Informe Fional Proyecto BIOCOMSA. Potencial de recursos lignocelulósicos, para la producción de BIODIESEL en Chile. CORFO/INNOVA. MINER.
2. www.ENPA.cl
3. www.BIOCOMSA.cl
4. www.CORFO.cl

XVI

PANORAMA DE LA INDUSTRIA CELULÓSICA PAPELERA ARGENTINA

Mirtha G. Maximino¹, Juan Carlos Formento²

1. Evolución histórica de Producción, Exportación e Importación de Pulpas y Papeles

Sobre la base de los datos aportados por el Ing. Nisnik, Gerente de la AFCP de la Argentina (1) y otras fuentes (2), se presentan datos de Producción Importación y Exportación correspondientes al período de los años 2009 -2014 para las distintas pastas celulósicas y papeles. Los mismos se resumen en las siguientes Tablas.

• Pulpas Celulósicas

Año	Producción (x 1000 t)	Exportación (x 1000 t)	Importación (x 1000 t)	CNA (*) (x1000 t)
2009	901	288	121	734
2010	943	248	101	797
2011	910	233	118	794
2012	881	181	146	845
2013	877	113	219	770
2014	823	193	167	797

(*) CNA: *Consumo Nacional Aparente*

La producción de pastas en el período 2009-14 muestra tendencia decreciente, equilibrándose el Consumo Nacional Aparente por efecto de crecimiento de la importación y decrecimiento del saldo exportable (1.)

-
1. Instituto de Tecnología Celulósica, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
 2. Consultor independiente, Santa Fe, Argentina.

- Papel de Impresión y Escritura

Año	Producción (x 1000 t)	Exportación (x 1000 t)	Importación (x 1000 t)	CNA (*) (x 1000 t)
2009	341	74	231	498
2010	344	78	265	531
2011	334	63	295	565
2012	322	64	260	518
2013	317	39	243	501
2014	322	33	196	485

(*) CNA: *Consumo Nacional Aparente*

En este período 2009-14 la producción de papel de impresión muestra tendencia levemente decreciente al igual que las exportaciones. Con importaciones crecientes se logra mantener el CNA. Se percibe una leve disminución del consumo per cápita del período analizado respecto al 2006-08.

- Papel para Embalajes

Año	Producción (x 1000 t)	Exportación (x 1000 t)	Importación (x 1000 t)	CNA (*) (x 1000 t)
2009	944	129	337	1152
2010	981	131	458	1308
2011	996	136	486	1345
2012	994	108	421	1306
2013	981	89	480	1372
2014	960	78	435	1316

(*) CNA: *Consumo Nacional Aparente*

El incremento de la producción e importación con paralela disminución de exportación ha incrementado considerablemente el CNA y también el consumo per cápita detectado en el período hacia 2012. La cantidad importada de este tipo de papeles resulta sensiblemente superior a la correspondiente a la suma de los papeles considerados anteriormente en este reporte.

- Papel Tissue

Año	Producción (x 1000 t)	Exportación (x 1000 t)	Importación (x 1000 t)	CNA (*) (x 1000 t)
2009	266	12	11	265
2010	284	13	18	289
2011	279	14	18	283
2012	287	9	18	296
2013	296	11	16	301
2014	297	8	15	303

(*) CNA: *Consumo Nacional Aparente*

Este tipo de papel es el que muestra el mayor crecimiento en producción y CNA. Las exportaciones se han reducido sensiblemente desde el primer al segundo trienio. La puesta en funcionamiento de la nueva máquina de tissue de la empresa Celulosa Argentina (Capitán Bermúdez - Argentina) en el mes de mayo de 2015 con una capacidad de 30.000 t/año, modificará sensiblemente los datos mostrados en la presente tabla.

(1) Nisnik, Néstor, *La Industria Celulósica Papelera Argentina. Perspectivas y oportunidades. Visión del sector hacia el 2020*. Jornadas Celulósicas Papeleras 2013, Parque Norte, Buenos Aires 16 Octubre 2013.

(2) Comunicaciones personales de los autores.

2. Empresas Productoras de Pasta Celulósicas y Papeles en Argentina (2015)

La información que se muestra en las siguientes tablas corresponde a datos obtenidos de información pública y/o comunicaciones personales de los autores.

Empresa	Ubicación geográfica	Pulpa Producida	Materia Prima	Producción (t/Año)	Tipo de papel	Producción (t/Año)
Alto Paraná SA	Puerto Esperanza Misiones	Química kraft blanqueada, fibra larga. Pulpa de mercado	Pino (ppalmente taeda)	350000	-	-
Celulosa Argentina (**)	Capitán Bermudez, Santa Fe	Química kraft blanqueada, fibra corta, integrada	Eucaliptus (ppalmente. grandis)	210.000	Impresión y Escritura no estucados, packaging y especiales	194.000
	Juan Lacaze (Rep. Oriental del Uruguay)	Química kraft blanqueada, fibra corta, integrada	-		Impresión y Escritura Estucados y No Estucados	
	Zárate, Buenos Aires	-	-	-	Impresión y Escritura no estucados	
Ledesma S.A. A.I.	Libertador Gral San Martín, Jujuy	Química a la soda antraquinona, integrada	Bagazo de Caña de Azucar	-	Impresión y escritura	125.000
	San Luis, San Luis	-	-	-	Papeles encapados	26.000
Grupo Zucamor	Capiovi, Misiones	Química kraft no blanqueada, integrada	Pino (elliottii, taeda)	95.000	Papeles liner y sack kraft	90.000
	Ranelagh, Quilmes, Buenos Aires	Papeles reciclados	Papel reciclado	-	Test liner y onda	102.600
	Mendoza, Mendoza					
Papel Prensa S.A.	San Pedro, Buenos Aires	Químico-mecánica soda sulfito blanqueada, fibra corta. Integrada	Sauces y Alamos	141.000	Papel periódico	170.000
		Pasta destinada de papel periódico	Papel reciclado	15.000		

(**) Los datos consignados de producción de pulpas y papeles corresponden al total indicado por la Empresa para la totalidad de las plantas incluida la de Juan Lacaze de la República Oriental del Uruguay.

Empresa	Ubicación geográfica	Pulpa Producida	Materia Prima	Producción (t/Año)	Tipo de papel	Producción (t/Año)
Smurfit Kappa Argentina	Bernal, Buenos Aires	Papeles reciclados	Papel reciclado	-	Ondas livianas de alta resistencia, test liners, para esquineros, separadores, para impregnar y para bolsas	150.000
	Coronel Suarez, Buenos Aires			-	Ondas livianas de alta resistencia, test liners	
Cartocor Arroyito	Arroyito, Córdoba	Papeles reciclados	100 % fibra reciclada	-	Papeles para embajaes en bobinas	51.000
Papelera del Sur	Torquinst, Buenos Aires	Papeles reciclados	Papeles reciclados, fibra virgen	80.000	Cartulinas encapadas para envases	96.000
Papelera Entre Ríos SA	Paraná, Entre Ríos	Papeles reciclados	Papeles reciclados, fibra virgen	-	Test liner Blanco y marrón, Cartón Gris, Papel onda y Cartones varios	18.000
Cifive SAIC	Recreo Sur, Santa Fe	Papeles reciclados	100 % fibra reciclada	-	Cartones sólidos - Gris, Blanco, Cartkraft - Estándar, Monolúcidos	9.000
Celulosa Alto Valle	Cipolletti, Rio Negro	Pasta al sulfito neutro	Fibra corta (Eucaliptus globulus)	20.000	-	-
Celupaper	San Pedro, Buenos Aires	-	-	-	Papeles Tissue (higiénicos, rollos de cocina)	23.000
Papelera Juan Jose Yapur	Tacuarendí, Santa Fe	-	-	-	Papeles Tissue	20.000
Papelera Nicaragua	Ruta 6, km 176, Buenos Aires,	-	-	-	Papeles Tissue en bobinas	30.000
Papelera Pacheco	Gral Pacheco, Buenos Aires	-	-	-	Conversión de Papeles Tissue (rollos de cocina, tissue general)	30.000

3. Información general y modernización de grandes, pequeñas y medianas Empresas

Los datos estadísticos presentados en el ítem 1 referidos a la producción, exportación e importación de pulpas y papeles muestran los vaivenes que se han producido en los últimos años en estos rubros de nuestro sector, con períodos de ascensos y descensos en cada uno de los casos mostrados.

No obstante se han detectado modernizaciones y/o mejoras de procesos productivos con sus correspondientes inversiones que consideramos importante detallarlas y que a su vez manifiestan el interés del sector en prepararse para un futuro de expansión con la incorporación de modernas tecnologías que incluyen conceptos de sustentabilidad.

3.1. CELULOSA ARGENTINA S. A.

Proyectos e Inversiones recientes

Nueva Máquina de Tissue puesta en funcionamiento en Mayo de 2015 en Capitán Bermúdez. Posee tecnología Alemana de última generación, Marca Voith - Línea VTM 1, 2760 mm ancho de tabla, 1800 m/min, basada en beneficios en costos operativos, eficiencia energética y en su clase en sustentabilidad. La máquina está equipada con caja entrada Master Jet T1, Cilindro Yankee Voith con capota de alta performance, Prensa Shoe Press Nipco Flex T y Master Reel. Posee Sistema de Control de Calidad OnQ equipado con sensores no radioactivos para medición de humedad y gramaje. Sistema de control de procesos OnC y suministro de línea completa de preparación de stock. Capacidad de producción: 30000 t/año. Tipo de productos fabricados: Toallas para cocina y tissue para toilet en rango de gramaje 15-21 g/m², a partir de fibra virgen. Inversión U\$S 25 millones.

Modernización secuencia de blanqueo pasta kraft de eucalipto (Capitán Bermúdez). Tecnología planta generación de dióxido de cloro ERCO Worldwide, Tipo R8. Provista y operada por Kemira. Reemplazo total del Cloro elemental por Dióxido de cloro. Secuencia de blanqueo hasta el mes de junio 2008 ha sido O C EOP H/PO y desde los meses de junio 2008 y julio 2009 O Do EOP H/PO y O Do EOP D1/PO respectivamente.

Para ello ha sido necesario realizar las siguientes inversiones: Planta de dióxido de cloro, en Etapa Do: Torre de 650 m³, bomba MC, Mezclador, en Etapa D1: Torre de 270 m³, Bomba MC, un mezclador, dos intercambiadores de calor de titanio y tanques de clorato de sodio y metanol

3.2. LEDESMA S.A.A.I

Recientemente ha realizado la ampliación de la capacidad en la Planta de Celulosa, ubicada en Libertador San Martín -provincia de Jujuy-, que les permitió alcanzar una producción de 127 mil toneladas por año de papel de impresión y escritura neto en bobinadora, con una inversión de u\$s 20 millones (1)

Con una inversión adicional de u\$s 4,5 millones ha incorporado a su planta de celulosa tecnología de blanqueo TCF (totalmente libre de cloro).

Una inversión de u\$s 25 millones en Anillo de Recuperación, que permite completar la instalación de una nueva caldera de recuperación en la fábrica de papel, la cual posibilita el aprovechamiento integral de los subproductos de la caña de azúcar para generar energía limpia y mayor productividad. Al mismo tiempo, la mejora en la eficiencia productiva permite reducir el consumo de combustibles no renovables en el complejo agroindustrial de Ledesma en Jujuy.

Proyecto relevante en energía limpia a partir del aprovechamiento de la biomasa demandó una inversión de u\$s 27,2 millones para la instalación de una caldera de Biomasa en la planta de energía. En 2012 se procesaron 40.000 toneladas de biomasa y se reemplazó un 10 % del consumo total de gas.

A su vez Ledesma está desarrollando un plan de forestaciones energéticas de eucaliptos que aportan biomasa de chips de madera a la matriz energética de la empresa. Con períodos de corte de 3 a 5 años, estos cultivos son renovables y suman otro aporte a la producción limpia con procesos de mínimo impacto ambiental.

La Planta de Papeles Encapados (Planta Brillapel - Ex-Massuh), ubicada en la ciudad capital de San Luis ha requerido en su compra una inversión de u\$s 17,4 millones. La planta produce papel para etiquetas y envases y papel ilustración utilizado en revistas, libros, folletería y material publicitario. Con un fuerte plan de inversiones su producción de aproximadamente 8.600 t/año, en el 2008 se ha triplicado para el año 2011 (2).

Ha obtenido la Certificación Fundación ProYungas para el papel fabricado con fibras celulósicas alternativas (FCA) provenientes de bagazo de caña de azúcar (01/08/2012). Dicha certificación se basa en el Cumplimiento de la Declaración de principios de la marca Productos Proyungas, Cumplimiento de protocolos específicos que cubren producción primaria (campo) y la fabricación del producto final (proceso fabril) y un listado

de aspectos ambientales, con una evaluación de cuales son significativos y como mitigarlos (3)

En el 2015 el 40 % de la producción propia de vapor y energía proviene del consumo de biomasa (3).

(1) Claudio Terrés - Gerente de Asuntos Públicos de Ledesma - Seminario sobre el impacto ambiental de la producción y consumo de papel - Fundación Ambiente y Desarrollo (AyD) - Buenos Aires (4/6/2013)

(2) Jornadas Celulósico Papeleras 2013. Módulo Mercado. Presentación de Marcos Uribe-larrea. Ledesma SAAI. Octubre 2013. Buenos Aires. Argentina.

(3) Jornadas Celulósico Papeleras 2015. "Paisaje Productivo Protegido. Certificación Producto Yungas – FCA (Fibras Celulósicas Alternativas)". Dr. Alejandro Brown / Ing. Juan Van Gelderen. Ledesma SAAI. Mayo 2015. Buenos Aires. Argentina.

3.3. SMURFIT KAPPA

Posee dos plantas de producción de papeles de embalajes en la Prov. de Buenos Aires con una capacidad total de producción de 150.000 t/año. Su consumo de papeles reciclados es de 450 t/día.

A) Planta Papel - Bernal

Tipo de papeles producidos: Ondas livianas para cajas industriales y de alta resistencia para cajas agrícolas, Test liners de buen acabado superficial, Papel en bandas para tubos higiénicos, Papeles pesados para tubos industriales, Papeles para esquineros, separadores y particiones, para impregnar y para bolsas

Planta de Tratamiento de efluentes (1):

De última generación (aplicando Mejores Técnicas Disponibles para fábricas de papel utilizando papel recuperado), con secuencia consecutiva de tratamiento anaeróbico - aeróbico.

Luego de un elevado cerramiento interno de circuitos de agua en planta de proceso (consumo 8-10 m3 agua/tn papel) posee un Tratamiento primario basado en recuperación de fibras por flotación.

El Clarificado se almacena en piletas equalizadoras y a continuación del ajuste de pH y temperatura se alimenta al reactor anaeróbico, el cual reduce mayoritariamente la carga orgánica. Luego el efluente se envía al reactor aeróbico y

posteriormente a un sedimentador. Su clarificado pasa a la cámara de aforo para su vertido final al cuerpo receptor.

Tratamiento secundario Anaeróbico + Aeróbico es más eficiente energéticamente y produce mucho menor cantidad de biosólidos vs. aeróbico solamente.

Superficie total del sistema de tratamiento de efluentes resulta muy reducida (la planta está ubicada en un área de elevada densidad poblacional en su contorno). Requiere elevado nivel de automatización. Laboratorio de control permanente. La operación y el control de la planta es computarizado. La inversión total ha sido de aproximadamente USD 4.000.000

B) Planta Papel – Coronel Suárez

Tipo de papeles producidos: Ondas livianas para cajas industriales y de alta resistencia para cajas agrícolas, Test liners de buen acabado superficial.

Posee planta de tratamiento de efluentes con sistema aeróbico convencional (2).

En ambas plantas posee las siguientes certificaciones: - FSC (2012 - 2017); - ISO 14001:2004 (2013-2016); - Certificado de aptitud ambiental (2013 - 2015); - Compromiso con los valores FSC (3).

(1) <http://www.treslineas.com.ar/exitosa-planta-tratamiento-papelera-smurfit-kappa-n-736562.html>

(2) Jornadas Celulósico Papeleras 2013 – AFCP. “Nuestras inversiones en las plantas de tratamiento de efluentes líquidos”. Edgardo Chanetton. Smurfit Kappa. Octubre de 2013. Buenos Aires. Argentina.

(3) <http://www.smurfitkappa.com/vHome/ar/BernalMill> ; <http://www.smurfitkappa.com/vHome/ar/CoronelSuarezMill>

3.4. GRUPO ZUCAMOR

El Grupo Zucamor se dedica a la producción de envases de cartón corrugado y bolsas multipliegos, en forma integrada con producción de papeles vírgenes y reciclados.

Posee un Área Forestal de 23.000 ha. de bosques de las cuales 10.400 ha constituyen la Reserva Natural Cultural Papel Misionero (RNCMP), dentro de la Reserva de Biósfera Yaboty. Con 12.900 has de bosques implantados de pinos elliotti y taeda abastecen parcialmente su planta de pasta y papel, comprando a terceros el resto de la madera necesaria.

En el año 2015 han obtenido Certificación PEFC -Cerfoar: Gestión forestal de bosques nativos y plantaciones forestales de Pinus sp y Eucaliptos

sp en la provincia de Misiones para la producción de madera rolliza: producción de plantines de pinus sp y especies nativas en su vivero ubicado en Puerto Mineral, Misiones (1)

Dicha planta ha logrado recientemente (2013) su **Autoabastecimiento Energético** a través de su nueva planta de Co-Generación de energía aprovechando Biomasa, aplicando la última tecnología y la mas amigable con el medio ambiente. Ha reemplazado el consumo de combustible fósil por una fuente renovable, reduciendo pasivo ambiental (2).

El proyecto ha incluido: Sistema de transporte Turbulator, caldera de lecho fluidizado burbujeante, turbogenerador de 15 MW en 13,2 KV con dos extracciones, planta de desmineralizado de agua por ósmosis inversa e infraestructura necesaria. **Monto total de la inversión: USD 70 millones.**

Entre los principales logros del proyecto se citan:

- Importante ahorro de costos de producción de papeles kraft por ahorros en costos de energía

- Consumo de madera para biomasa: 400.000 tn/año (20 % de autoabastecimiento, resto compra a terceros, aportando 4 millones de USD/año a la región por compra de biomasa)

- Se dejan de consumir 20.000 t/año de fuel oil

- Se reducen 70.000 t/año de emisiones de CO₂

- Eliminación de quemas de biomasa a cielo abierto

- Menor aporte de óxidos de azufre a la atmosfera vs. combustibles fósiles

- Permitir la posibilidad de disponer energía eléctrica propia suficiente para implementar Proyecto de refino alta consistencia, el cual apunta a lograr papeles más porosos y de mejor calidad. **Dicho proyecto ha requerido una inversión de USD 4,5 millones** y su puesta en marcha está prevista para mediados de 2015.

Posee además dos planta de papeles de embalaje (test liners y onda) ubicadas en Buenos Aires y Mendoza (esta última adquirida recientemente), las cuales utilizan como materia prima 100 % de papeles reciclados, produciendo en conjunto 102.600 t/año de papeles.

(1) "Gestión Forestal Sostenible- Certificación Forestal CERFOAR". Grupo Zucamor. *Jornadas Celulósico Papeleras 2015 – AFCP. Mayo de 2015. Buenos Aires. Argentina.*

(2) "Energía por Biomasa. Una Experiencia Papelera". Eduardo Borges. Grupo Zucamor. *Jornadas Celulósico Papeleras 2013 – AFCP. Octubre 2013. Buenos Aires. Argentina.*

3.5. PAPEL PRENSA S.A.

Proyectos relevantes ejecutados en el período 2009-2014:

- Ampliación del sistema de tratamientos de efluentes
- Instalación de una caldera para el quemado de biomasa.

3.6. PAPELERA DEL SUR

Ha realizado un Joint venture con Tetrapack para el procesamiento de estos tipos de papeles provenientes del post consumo. Papelera del Sur dispone de la tecnología necesaria para el procesamiento de este tipo de material. Su capacidad actual de procesamiento de envases Tetrapack post consumo es de 300 t/mes.

Produce los siguientes tipos de cartulinas: Dúplex (dorso marrón) - 230 a 450 g/m² y Triplex (dorso blanco) - 260 a 370 g/m²

Los proyectos relevantes ejecutados recientemente han sido los siguientes

- Modernización de los mandos de máquina continua (2009 - 2010)
- Renovación instalaciones manejo de vapor y condensado. Reformas en una estación de estucado (2012)
- Certificación FSC y Certificación de Aptitud ambiental (Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible), Pcia de Buenos Aires, Planta Torquinst (2014)

3.7. GRUPO EMPRESARIO dedicado a la producción de pulpa celulósica sulfito neutro de mercado y papeles tissue.

Este grupo empresario opera las siguientes plantas:

Celulosa Alto Valle. Posee una capacidad actual de producción de pulpa al sulfito neutro de fibra corta (Eucaliptus globulus) de 20.000 t/año.

Celupaper S.A., produce 23.000 t/año de papeles tissue (70 % de higiénicos y 30 % de rollos de cocina).

Papelera Juan Jose Yapur, produce 20000 t/año de papeles tissue.

Papelera Nicaragua, con una capacidad instalada de 30.000 t/año, produce solo papeles tissue en bobinas.

Papelera Pacheco posee seis líneas de conversión, en las cuales se procesan 30.000 t/año de rollos de cocina y tissue general en un 50 % en cada caso.

Sus proyectos relevantes durante el período 2009-14 se mencionan a continuación estimando una inversión superior a los 15 millones de USD para los mismos:

- Montaje de tres máquinas de papel tissue en bobinas en Papelera Nicaragua;
- Montaje de seis líneas de conversión en rollos en Papelera Pacheco.
- A través de un programa de mejoras en eficiencia energética, durante el año 2015 se ha reducido en 10 % el consumo de energía eléctrica por tonelada de papel en bobinas.

3.8. PAPELERA ENTRE RIOS SA

Posee dos líneas de preparación de pasta y una máquina de papel multicilíndrica con cinco cajas de formación, 2500 mm de ancho de tabla, velocidad máxima 150 m/min con rango de gramajes de 120 a 450 g/m².

Proyectos e Inversiones: En el período 2009 - 2014 Papelera Entre Ríos S.A. ha efectuado inversiones por alrededor de USD 3.000.000.

Máquina continua: Incremento de la capacidad de secado, con la instalación de una sección de secadores a 7 Kg/cm², Reforma del circuito de condensado con la incorporación de un sistema de Flasheo de vapor y su reinyección en los primeros secadores. Reforma del circuito de vacío. Cambio del techo de planta, en la zona de máquina para permitir el reemplazo y montaje de una nuevo sistema de extracción, y capota de secado. Se contrata empresa auditora mediante un acuerdo con la Secretaria de Energía de la Nación, para llevar adelante una auditoría técnica y estudio respecto de eficiencia, reemplazándose luego los mandos de máquina de corriente continua a corriente alterna. Se reemplazan dos cajas de alimentación y bateas formadoras, se efectúa la automatización y control interno del circuito de agua recuperada de cada una de las líneas de preparación de pasta.

Reducción de impacto ambiental: Reforma del circuito de agua de la máquina para incrementar en un 25% el consumo de agua recuperada, incorporación de planos inclinados para el tratamiento de efluentes y reducción del contenido de sólidos sedimentables. en el año 2015 se contrata el proyecto final para la ejecución de nueva planta de tratamientos de efluentes. con una inversión prevista de u\$s 1.100.000.

Mejoras en línea de preparación pasta liner (2014): Se elabora un proyecto para el montaje de un nuevo sistema de desfibrado e instalación de equipos de clasificación y dispersión para aplicar en la línea de pasta blanca con una inversión prevista de u\$s 1.000.000.

Alistamiento: Se adquiere una nueva Cortadora de bobinas a Hoja y una nueva rebobinadora de origen china para incorporarlas a dicho sector.

3.9. CIFIVE SAIC

Su proceso de preparación de pastas posee dos líneas independientes, con desfibrado y depuración. Dispone de dos máquinas cartoneras (MC1 y MC2), ambas equipadas con formas redondas y cinco cajas de formación en cada una de ellas.

La mayor parte de la producción se entrega en hojas cortadas en Máquinas Cartoneras en anchos compatibles con el ancho útil de tabla. También pueden entregar cartón en bobinas de 1600 mm de diámetro en gramajes de hasta 840 g/m². Produce cartones acoplados con gramajes que alcanzan 1780 g/m² (espesor 3 mm).

En la sección de Alistamiento se pueden cortar hojas producidas por MC1 - MC2 en formatos especiales de tamaño reducido

Proyectos e Inversiones: Durante los años 2009-2010 se realizaron ampliaciones de capacidad de líneas preparación stock de capa (liners) capa y alma (fillers).

A principios de 2011 la capacidad de producción de cartón se incrementó de 27 t/día a 45 t/día utilizando las dos máquinas cartoneras en forma simultánea.

En el año 2013 se han importado para la Sección Alistamiento nuevas máquinas cortadoras circulares de moderna tecnología para producir hojas o piezas de cartón de pequeños formatos con alta precisión de corte.

3.10. CARTOCOR ARROYITO – ARCOR

La empresa Arcor en su estrategia de sustentabilidad se ha comprometido con el uso racional del packaging. En su política de abastecimiento de papel sustentable (1) ha implementado las siguientes metas:

Para fines del 2015 debe lograr un mínimo del 20 % de consumo de material de empaque adquirido a base de fibra celulósica de madera de fuente de fibra virgen o de material base fibra reciclada debidamente certificado. Para final del año 2020, la cifra se aumenta a 60 % y para fines del año 2022, llegar al 100 %

El criterio para establecer una fuente debidamente certificada, sigue el esquema de certificación del FSC u otra equivalente con el mismo reconocimiento internacional PEFC, SFI). La planta de papel (Arroyito, Córdoba) ha logrado en Junio de 2014 la certificación de cadena de custodia FSC.

“Estrategia de sustentabilidad ARCOR – Compromiso con el uso racional del Packaging” *Jornadas Celulósico Papeleras 2015 – AFCP. Mayo de 2015. Buenos Aires. Argentina.*

4. Certificaciones en Argentina de Responsabilidad Social Empresaria (RSE) de productos con base forestal

Países y regiones como la Unión Europea, Australia, Nueva Zelandia y Japón, como así también empresas líderes a nivel mundial, incorporan en forma creciente a sus políticas de compra pública y/o privada la exigencia de demostrar la legalidad o sostenibilidad del origen de la materia prima de productos de base forestal, reconociendo sellos tales como **FSC** y **PEFC** entre los más importantes, como instrumento que verifica o facilita la verificación del cumplimiento de estos requerimientos.

En Argentina las primeras empresas de base forestal que lograron este tipo de certificación han sido las de mayor tamaño y de relevancia internacional, habiendo utilizado principalmente el sello FSC. El Sistema Argentino de Certificación Forestal (**Cerfoar**) fue desarrollado en base a un esquema que ha reunido la experiencia acumulada por las distintas instituciones forestales argentinas. Entre otros objetivos, promueve la expansión de la gestión forestal sostenible en pequeños y medianos productores, así como en los bosques nativos.

El Cerfoar alcanzó en el 2014 la homologación luego de que evaluadores externos enviados por PEFC verificaron que el proceso de desarrollo de las normas y su contenido cumple con los estándares de la organización.

A partir de dicho momento la Argentina se ha convertido en el cuarto país latinoamericano que posee un sistema nacional de certificación forestal homologado por el PEFC, junto a Brasil, Chile y Uruguay. Si bien la mayoría de las empresas de base forestal que han certificado RSE en nuestro país lo han realizado por FSC, en la actualidad PEFC está creciendo sostenidamente en su actividad certificadora. Las empresas de mayor magnitud en general poseen los dos sellos, siendo opcional para cada cliente su elección.

5. Actividades de Docencia, Investigación, Servicios de Transferencia, Institucionales

5.1. INTI-CELULOSA y PAPEL. Instituto Nacional de Tecnología Industrial Parque Tecnológico Miguelete, San Martín, Prov. de Bs. As.

- Recursos Humanos: Total 17 personas, 8 graduados universitarios, 7 técnicos, 1 administrativo, 1 Licenciado en bibliotecología (dedicación parcial)
- Infraestructura
 - Edificio propio de 800 m² cubiertos
 - Laboratorios: ensayos físicos, análisis químicos, microscopía, impresión gráfica
 - Planta piloto de pulpado y papelería
 - Biblioteca específica

- Actividades principales
 - Estudios técnicos diversos sobre materias primas, procesos de producción, calidad de productos, protección ambiental
 - Cursos de capacitación técnica
 - Asesoramiento
 - Dictámenes técnicos para el Sector Público
- Destinatarios de los servicios técnicos brindados
 - Empresas de la cadena industrial celulósico-papelera
 - Convertidores y usuarios de los productos del sector
 - Organismos del sector público

5.2. PROGRAMA DE CELULOSA Y PAPEL (PROCYP). Instituto de Materiales de Misiones - Universidad Nacional de Misiones (UNaM)-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

El Programa de Celulosa y Papel es el área del Instituto de Materiales de Misiones (IMAM), dependiente de la UNaM y el CONICET dedicada a la docencia, investigación y extensión sobre Materiales Lignocelulósicos. Su existencia en la UNaM data de hace más de 30 años, siendo origen de diferentes proyectos de investigación y de todas las actividades docentes de pregrado, grado y postgrado, así como de los servicios en el área.

Actualmente funciona en instalaciones de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Misiones, aunque próximamente se trasladará a un nuevo edificio del IMAM. Cuenta con infraestructura propia que incluye: cuatro laboratorios (químico, químico instrumental, de ensayos físicos y de microscopía), un sector de planta piloto gabinetes, biblioteca, hemeroteca, xiloteca y aula. El grupo humano del Programa está compuesto por 21 personas entre docentes, investigadores (CONICET y UNaM), becarios (CONICET, CIN, UNaM) y auxiliares.

Tesis Doctorales en desarrollo:

- “Fraccionamiento de aserrín de pino destinado a una biorrefinería”

Directora: Dra. María C. Area; Co-Directora: Dra. Liliana Gassa.

- “Recipiente biodegradable alternativo a los habitualmente usados para la germinación y el crecimiento de plantas”

Directora: Dra. Graciela B. Gavazzo

- “Reducción de la DQO recalitrante de efluentes de procesos de pulpado quimimécánicos y semiquímicos mediante el proceso Fenton”

Directora: Dra. María C. Area; Co-Directora: Dra. Rosa Fenoglio.

- “Influencia del pretratamiento de residuos forestoindustriales sobre la producción de bioetanol”

Directora: Dra. María Cristina Area.

- “Obtención de vainillina a partir de ligninas obtenidas en el pretratamiento de residuos forestoindustriales para la producción de bioetanol”

Director: Dr. Fernando E. Felissia; Co-Directora: Dra. María Vallejos

- “Biorrefinería de recursos lignocelulósicos no tradicionales: *Moringa oleifera*”

Director: Dr. Fernando E. Felissia; Co-Directora: Dra. María Vallejos

- “Producción de ácidos carboxílicos a partir de hemicelulosas obtenidas en el pretratamiento de residuos forestoindustriales”.

Director: Dr. Fernando E. Felissia; Co-Directora: Dra. María Vallejos

- “Nanocelulosa a partir de residuos de la industrialización primaria de la madera”.

Directora: Dra. María Cristina Area.

- “Deslignificación selectiva y ambientalmente amigable de aserrín de pino aplicable a escala PYME”.

Director: Dr. Fernando E. Felissia; Co-Directora: Dra. Natalia Rafaelli

- “Viabilidad técnico-económica de los esquemas de biorrefinería de residuos de industrialización primaria de la madera”

Directora: Dra. María Vallejos.

Proyectos de Investigación

- “Tecnologías de Fraccionamiento y Separación – Purificación de Subproductos en Biorrefinerías de Residuos Agro y Forestoindustriales”.

Director: Fernando E. Felissia. Co-Director: María Cristina Area

Directora área temática (purificación): María E. Vallejos

- “Bio-Productos y Bio-Materiales a partir de la Biorrefinería de Residuos Agro y Forestoindustriales”

Directora: María Cristina Area. Co-Directora: María Evangelina Vallejos.

- “Biorrefinería a Partir de Residuos de Industrialización Primaria de la Madera”

Directora: María Cristina Area. Co-Director: Fernando Esteban Felissia.

- “Estudio de Alternativas para el Tratamiento de la DQO recalcitrante de efluentes de procesos quimimecánicos y semiquímicos”

Directora: María Cristina Area. Co-Director: Fernando Esteban Felissia.

- “Sistema de Laboratorio de Obtención de Pulpa Moldeada adecuado para la evaluación del Proceso y las Materias Primas”

Directora: Graciela B. Gavazzo. Co-Director: José Antonio Posluszny.

- “Recipientes Biodegradables Aptos para Cultivos”

Directora: Graciela B. Gavazzo

▪ “Recursos Fibrosos Lignocelulósicos Papeleros”

Director: Carlos Eduardo Núñez

Docencia

• **Posgrado:**

- Maestrías en Ciencias y en Tecnología de Madera, Celulosa y Papel.
- Doctorado en Ciencias Aplicadas, subdisciplina: Tecnología de los Materiales.

• **Pregrado y Grado:**

- Orientación en Tecnología de Celulosa y Papel de la carrera de Ingeniería Química.
- Tecnicatura Universitaria en Celulosa y Papel.

• **Capacitación:**

Programa de Capacitación en Celulosa y Papel, de carácter semipresencial, implementado por convenio con la Asociación de Fabricantes de Celulosa y Papel (AFCP), para personal de empresas.

Vinculación tecnológica y Servicios a la Industria Celulósica –Papelera

El PROCYP realiza actividades de apoyo a las fábricas del sector, incluyendo servicios técnicos y trabajos de desarrollo y optimización de procesos.

Participación en redes

Red CYTED 313RT0477. 2013-2016. RICARCOR: Mejoras en la fabricación de láminas de cartón ondulado (corrugado) por el uso controlado de materias primas, calor, almidones y procesos de manufactura. (Participan miembros del proyecto 16Q493 dirigido por Dra. Gavazzo). http://www.cytcd.org/cytcd_investigacion/detalle_accion.php?un=ca8155f4d27f205953f9d3d7974bdd70&lang=es

Red CYTED 312RT0456. 2012-2015. PROVALOR: Productos de valor agregado a partir de residuos agro y forestoindustriales. (Participación de miembros del proyecto 16Q488 dirigido por Dra. Area). http://www.cytcd.org/cytcd_investigacion/detalle_accion.php?un=02a32ad2669e6fe298e607fe7cc0e1a0&lang=es

Red Iberoamericana de Docencia e Investigación en Celulosa y Papel (RIA-DICYP). Desde el año 2000. (Participan los miembros del PROCYP). <http://www.riadicyp.org.ar/>

5.3. INSTITUTO DE TECNOLOGÍA CELULÓSICA (ITC). Facultad de Ingeniería Química – Universidad Nacional del Litoral.

El Instituto de Tecnología Celulósica fue creado el 6 de mayo de 1977 y depende de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral. Se desarrollan tareas de Investigación, Formación de Recursos Humanos y Transferencia de

Conocimientos y Servicios Tecnológicos al medio social y productivo en el área de productos lignocelulósicos. Se consideran materiales y productos químicos derivados de la lignina, celulosa o hemicelulosa y de ellos especialmente la celulosa, el papel y los materiales de embalaje.

La Formación de Recursos Humanos incluye Pasantías y Becas, Docencia de Grado, Posgrado, y Formación Continuada de Docentes, Egresados y Profesionales de la Industria, en general.

En transferencia de conocimientos y tecnología se incluyen proyectos de investigación aplicada y desarrollo, solicitados y financiados por organismos nacionales o por la industria especialmente del sector celulósico papelerero.

El Instituto funciona en instalaciones de la Facultad de Ingeniería Química y cuenta con infraestructura propia que incluye: laboratorio de ensayos químicos, de ensayos físicos y de microscopía y un sector de planta piloto. El grupo humano está compuesto por 13 personas entre docentes e investigadores (UNL y CONICET), becarios (CONICET, UNL) y auxiliares.

Tesis Doctorales en desarrollo:

- “Alternativas de disolución de celulosa para la producción de esponjas”
Directora: Dra. Mirtha Maximino; Co-director: Dr. Julio Deiber
- “Carbamato de celulosa para la obtención de productos de celulosa regenerada”
Directora: Directora: Dra. Mirtha Maximino; Co-director: Dr. Julio Deiber
- “Aplicación de xilanos en complejos de polielectrolitos”
Director: Dr. Miguel A. Zanuttini.

Proyectos de Investigación

- “Obtención, caracterización y adsorción de complejos de polielectrolitos naturales sobre fibras celulósicas lignificadas de recicló”
Directora: Dra. Paulina Mocchiutti.
- “Pre-extracción de hemicelulosas en el pulpado alcalino de madera de eucalipto”
Director: Dr. Miguel Zanuttini
- “Mejora de las propiedades de difusión en madera de Eucalyptus para la impregnación en el pulpado Kraft.”
Directora: Dra. M. Cristina Inalbón
- “Procesos Alternativos para la disolución de celulosa para la obtención de productos regenerados”. *Directora: Dra. Mirtha G. Maximino*
- “Extracción y Uso de los Xilanos a partir de un Pulpado Alcalino Sustentable de Eucalipto”
Director: Dr. Miguel Zanuttini

- “Adsorbentes basados en celulosa /óxidos de hierro para remoción de arsénico en aguas”
Director: Dra. Mirtha G. Maximino
- Proyecto Orientado a problemas Sociales y Productivos incorporado al Banco de Proyectos de Desarrollo Tecnológico y Social (PDTs) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación productiva. Argentina (3/12/2014)

Docencia

- **Grado:** Dictado de las siguientes asignaturas optativas:
 - “Materiales Lignocelulósicos. “
 - Carreras: Ingeniería y Licenciatura en Materiales; Ingeniería Química
 - “Aspectos Básicos de la Fabricación de Pulpas Celulósicas y Papeles”
 - Carrera: Licenciatura en Química

5.4. ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE CELULOSA Y PAPEL (AFCP). (www.afcparg.org.ar)

La AFCP ha encarado en los últimos años actividades relacionadas con dos ejes, a saber

- La Comunicación
- La Capacitación

Si bien hay actividades específicas en cada eje, hay una en particular que suma a ambas, y se trata de las **Jornadas Celulósico Papeleras**, las cuales se desarrollan cada dos años. La primera tuvo lugar en octubre del 2013 y la segunda recientemente en mayo del 2015.

Como ejemplo, el programa de las Jornadas 2015, que tuvo una duración de tres días y 230 participantes, incluyó los siguientes tópicos:

- La Innovación en Tecnología y en Procesos
- La Comunicación. El Medio Ambiente. La Energía
- El Mercado

El primer día fue dedicado exclusivamente a la Innovación, con referentes de las principales empresas abastecedoras de la industria celulósico – papeleras. Durante el segundo día se desarrollaron conferencias de especialistas y paneles formados por relevantes figuras de nuestra industria, para abordar los temas indicados. En el tercer día se programaron visitas a las plantas de UPM (Fray Bentos - Uruguay), a la planta de tratamiento de efluentes de Smurfit Kappa en Bernal (Buenos Aires - Argentina) y a la planta de papel Tissue de Celulosa Argentina (Capitán Bermúdez – Santa Fe - Argentina)

En el auditorio estuvieron presentes distintas gerencias de nuestra industria y especialistas de las distintas ramas papeleras: papeles de impresión y escritura (incluyendo newsprint), tissue, papeles para embalaje en general y también productores de pulpas celulósicas.

Siguiendo con Comunicación, se cuenta con el tradicional reporte de edición quincenal, en el cual se informan las novedades más resaltantes de nuestra industria, así como indicadores económicos, sociales y medioambientales. A partir de mayo del 2014, se le unió al mismo una página en Facebook, denominada Comunidad del Papel, la cual en octubre del 2015 ya ha superado los 35.000 seguidores, cuyo objetivo es brindar información relativa a las bondades del papel en todo su ciclo de utilización.

En el eje de **Capacitación**, se destaca un curso general de Celulosa y Papel, con características semipresenciales, conformado por 11 módulos, de los cuales 9 son a distancia y 2 presenciales. El mismo es el resultado de un Convenio Firmado entre AFCP y el Programa de Celulosa y Papel de la Universidad Nacional de Misiones. La duración es de dos años, con una carga horaria de 360 horas, las cuales 300 son a distancia. Los dos módulos presenciales se dictan en los laboratorios del Procyt, en Posadas - Misiones. La inscripción ha sido muy exitosa, con 24 alumnos, incluyendo uno del exterior (Perú). Este curso que ha comenzado en Agosto del 2015, finalizará en junio del 2017.

Adicionalmente la AFCP genera programas semestrales con seminarios, talleres y encuentros en distintos ámbitos, tanto el técnico, el laboral, el de seguridad e higiene como el de medio ambiente.

Es de destacarse varios talleres que se realizan en conjunto con el INTI Celulosa y Papel, del cual la AFCP es miembro del Consejo Directivo. Los mismos se dictan, habitualmente, en los propios laboratorios del INTI

XVII

A INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL NO BRASIL

Por:

Carlos Alberto Farinha e Silva – Vice-presidente Pöyry Tecnologia Ltda

Jefferson Mendes Bueno – Diretor da Pöyry Consultoria em Gestão e Negócios

Manoel Rodrigues Neves – Gerente de Estudos Econômicos da Pöyry Tecnologia Ltda

Situação Atual

O setor de Celulose e Papel no Brasil, no início de 2015, encontrou-se dentro de um cenário de indefinições internas e externas. O país, em geral, aguarda o traçado final da política econômica do novo mandato presidencial. No exterior, o mundo debate-se com uma nova ordem ditada pelo preço barato do petróleo, pelo menos temporariamente, com a União Europeia e o seu processo de recuperação econômica ameaçada por novos desenvolvimentos da crise na Grécia. A isso acrescentamos o arrefecimento do crescimento da China e um ambiente tumultuado no Oriente Médio e Leste Europeu.

A situação descrita acima se reflete no País de duas maneiras distintas, embora interligadas; a situação no mercado interno afeta o desenvolvimento da produção de papel e a situação global impacta diretamente a produção de celulose para exportação, a qual tem sido o grande motor do crescimento do setor.

O Enquadramento Internacional

O mercado mundial de papel tem sido influenciado, principalmente na última década, por três fatores fundamentais:

- A globalização em termos de hábitos de consumo e o crescimento da permeabilidade do comércio internacional;
- A “desmaterialização” dos meios de informação devido ao progresso da mídia digital;
- O aumento do poder aquisitivo de grandes massas de população residentes

nos países em desenvolvimento e a sua conseqüente ascensão a uma nova classe média de hábitos mais sofisticados e mais demandantes.

Expansão da classe média no mundo

A figura 1 mostra uma nova classe média nos mercados emergentes como grande força motora para o crescimento.

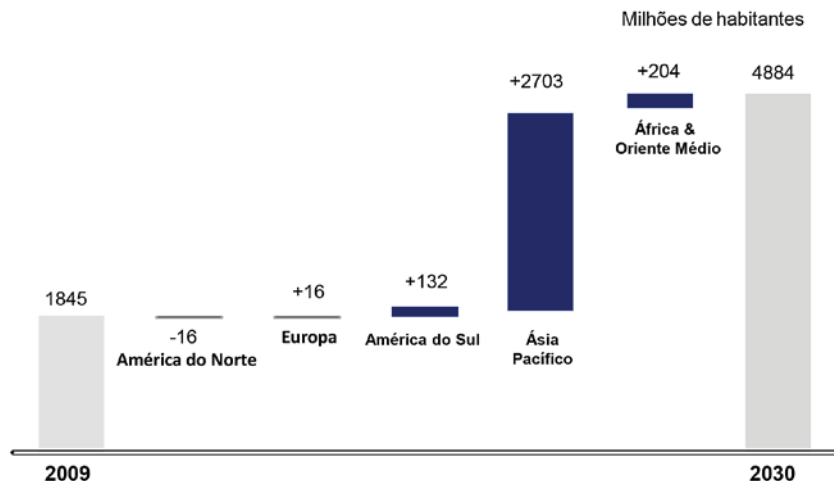


Figura 1 – Nova classe média nos mercados emergentes como força motora para o crescimento
Fonte: OCDE

Este cenário tem catalisado o desenvolvimento das seguintes tendências:

- A crescente importância da região asiática como grande produtor e consumidor de papel;
- O avanço acelerado das tecnologias eletrônicas de transmissão e divulgação da informação;
- A lenta recuperação da União Europeia;
- A retomada da economia Norte Americana com base na inovação e tecnologias inovadoras, por exemplo, o gás de xisto.

Considerações gerais sobre o mercado mundial de Papel

A produção mundial de papel cresceu de cerca de 50 milhões de toneladas em 1950 para 398 milhões de toneladas em 2013. Até 2030 este número deverá alcançar perto de 482 milhões de toneladas, o que significa uma taxa de crescimento de 1,1%/a

como mostra a figura 2. Esta taxa é composta por um decréscimo de consumo no mundo desenvolvido, Japão, Europa Ocidental, América do Norte e Oceania, apresentando um valor de -0,7 a 1,0%/a de CAGR (*Compound Annual Growth Rate*).

O mundo em desenvolvimento apresenta ainda taxas de crescimento saudáveis, especialmente na Ásia, onde o consumo deverá subir de 189 milhões de toneladas em 2013 para perto de 268 milhões de toneladas em 2030.

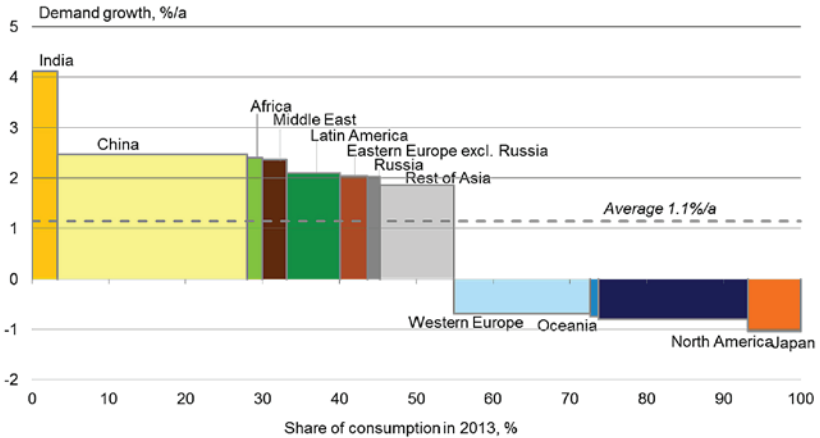


Figura 2 – Crescimento do consumo de papel e cartão no longo prazo por região
 Fonte: Pöyry

Quanto ao crescimento por qualidades, a figura 3 mostra que a tendência vem se mantendo com crescimento acentuado em embalagens, papéis sanitários

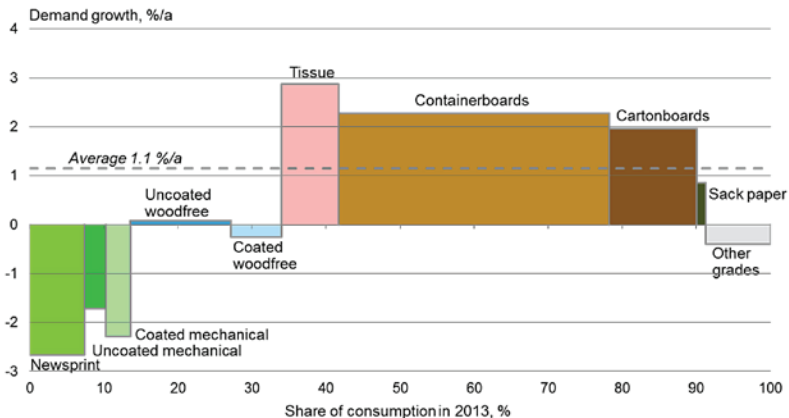


Figura 3 – Crescimento no longo prazo a demanda global de papel e cartões por região
 Fonte: Pöyry

(*tissue*) e cartões. As forças motoras atrás destas tendências são o aumento do poder aquisitivo da crescente classe média nos países em desenvolvimento, o crescimento do transporte de bens impulsionado pelo comércio internacional e a transferência dos meios de produção das regiões desenvolvidas para as regiões em desenvolvimento.

Nos países desenvolvidos prevê-se um decréscimo do consumo motivado principalmente pela diminuição de consumo do papel de imprensa e dos papéis de imprimir e escrever.

Ainda existe um bom potencial de crescimento quando se considera o “consumo *per capita*” dos países em desenvolvimento em comparação com os países desenvolvidos da América do Norte e Europa. A figura 4 mostra este potencial para alguns países selecionados como representativos das respetivas áreas.

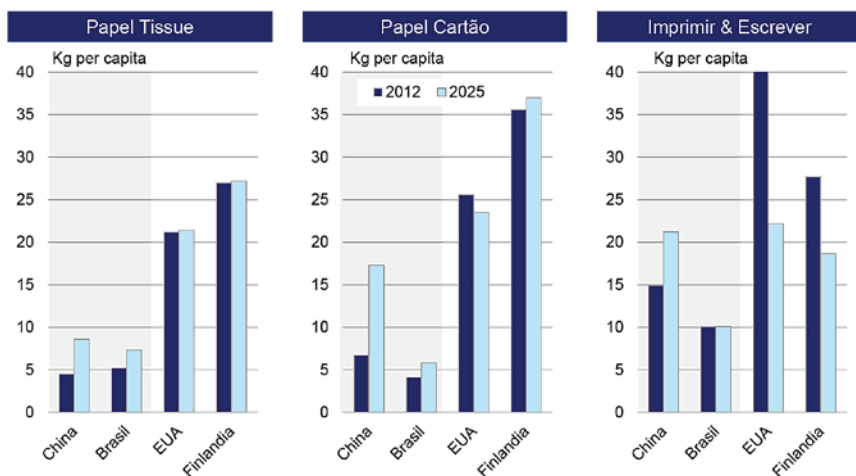


Figura 4 – Mudanças no consumo per capita de papel
 Fonte: Pöyry

É interessante realçar que o consumo de papel para fins sanitários (*tissue*) é o único que apresenta crescimento em todas as regiões. O consumo de papel cartão está muito ligado à atividade manufatureira e à exportação de bens de consumo. O impacto da digitalização dos meios de comunicação afeta principalmente as regiões desenvolvidas, com especial ênfase para o consumo de papéis para imprensa, que não só sofrem pressão da migração dos seus leitores para os meios eletrônicos, mas também, e fortemente, com a diminuição acentuada das receitas provenientes de publicidade.

A Silvicultura no Brasil

Breve histórico

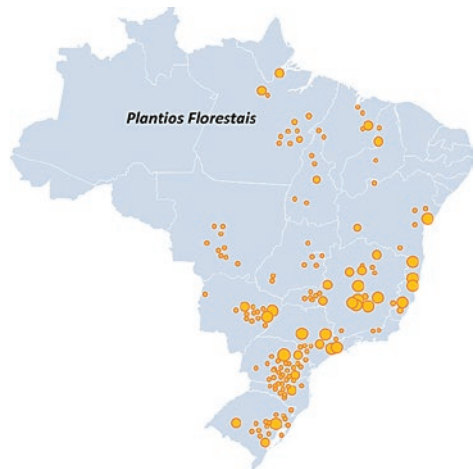
A história da silvicultura brasileira está intimamente ligada ao desenvolvimento da indústria nacional de base florestal.

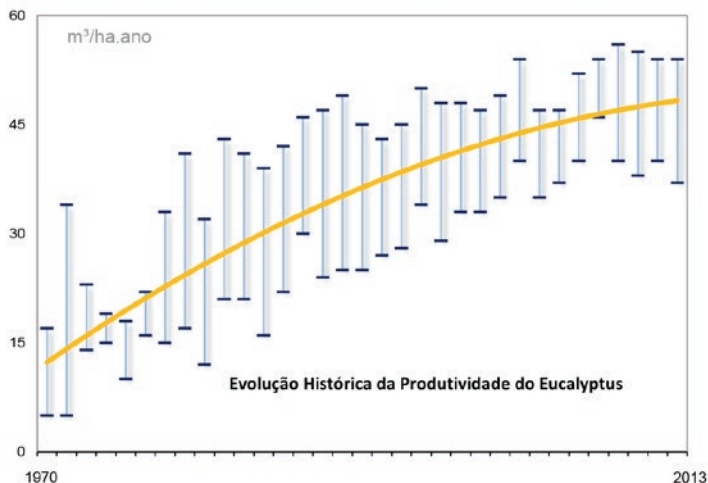
No final da década de 1950, o esforço de planejamento do Estado brasileiro para promover o desenvolvimento econômico se materializou no Plano de Metas, o qual elegia cinco áreas prioritárias para destinação de investimentos e fixava metas para serem atingidas em cinco anos. A indústria de celulose e papel era um dos segmentos da indústria de base contemplados no Plano. A meta de produção anual estabelecida era de 200 mil toneladas de celulose e 450 mil toneladas de papel, aí incluídas 130 mil toneladas de papel de imprensa. Como resultado, o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), embora não tenha concedido prioridade especial ao setor, passou a apoiá-lo de forma mais constante a partir de 1957, inclusive com alguns projetos emblemáticos de produção de celulose de *Eucalyptus*.

O segundo movimento governamental que impulsionou a indústria brasileira de base florestal foi à política de incentivos fiscais de 1966 (Lei 5.106), que, ao permitir a dedução de imposto de renda para investimentos em projetos de plantios florestais, propiciou a formação da base florestal brasileira, a qual deveria prioritariamente suprir a indústria siderúrgica com carvão vegetal e a indústria de celulose com madeira.

Como resultado do programa de incentivos fiscais, entre 1965 e 1985 a área de plantios florestais no Brasil, principalmente dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, saltou de 500 mil para aproximadamente 4,5 milhões de hectares, distribuídos nos chamados distritos florestais, regiões alvo para a indústria de base florestal.

A curva de aprendizado durante esses 20 anos foi longa e intensa, especialmente nas áreas de silvicultura, manejo e genética. Para dar suporte ao desenvolvimento da silvicultura, o governo federal criou duas autarquias: o Instituto





Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), com a missão de planejar e coordenar a política florestal e o Centro Nacional de Pesquisa de Florestas da EMBRAPA (CNPQ), com o intuito de desenvolver tecnologias para a implantação e manejo dos plantios florestais.

No momento em que os plantios atingiram uma área significativa e entraram em fase de maturidade/produção, entre 1980 e 2000, iniciou-se a fase de consolidação do negócio florestal no Brasil. Nesse período, o desenvolvimento tecnológico da silvicultura, do manejo e da genética permitiu elevar a produtividade média dos plantios de *Eucalyptus* de 15 m³/ha.ano para 43 m³/ha.ano.



Em relação aos plantios de *Pinus* manejados para multiprodutos, a produtividade cresceu de 15 m³/ha.ano para 32 m³/ha.ano; e a produtividade dos plantios manejados para produção de celulose de 15 m³/ha.ano para cerca de 40 m³/ha.

Ainda na fase de maturação do negócio florestal no Brasil, houve uma rápida expansão e diversificação da indústria de base florestal, podendo-se destacar o crescimento das indústrias de celulose & papel e siderurgia a

carvão vegetal, bem como o desenvolvimento da indústria de painéis reconstituídos. Além disso, a produção de serrados e laminados a partir de madeira de plantios florestais substituiu o uso de madeira de florestas nativas.

No início da década de 2000, a indústria de base florestal se viu confrontada com as forças socioambientais, fenômeno surgido no início da década de 1970 que se consolidou nos anos 2000, questionando seu modelo de desenvolvimento.

Como resposta, houve um esforço significativo por parte da indústria na busca da sustentabilidade socioambiental, o qual conduziu o setor a certificar praticamente todos os seus plantios florestais.

Entre 2000 e 2014, a indústria brasileira de base florestal tornou-se um negócio de classe mundial, altamente competitivo no mercado internacional, principalmente devido à alta produtividade de suas florestas plantadas. No período, a área plantada cresceu a taxas médias de 7% ao ano. A silvicultura adaptou-se a novas fronteiras nas regiões centro e norte do país, em função da limitada disponibilidade de terras para expansão da área plantada nos cluster tradicionais da região costeira do país.

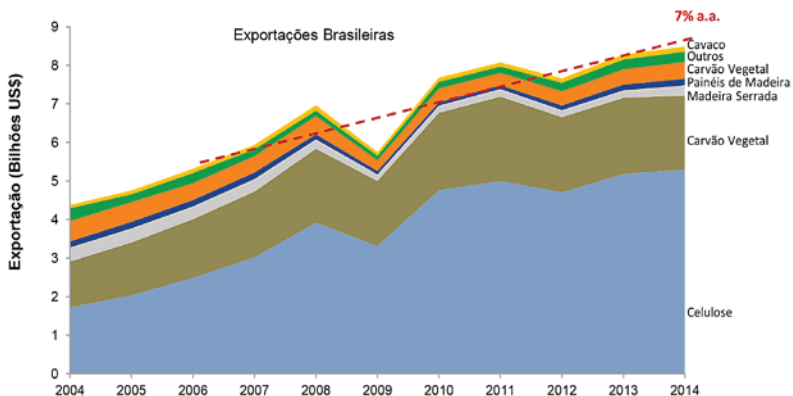


Figura 5 – Exportações brasileiras
Fonte: Pöyry

A maturidade do negócio florestal atraiu investidores internacionais com foco tanto nas indústrias de celulose e painéis reconstituídos quanto na silvicultura. No caso da silvicultura, as TIMOS (*timber investment management organizations*) tornaram-se uma alavanca significativa para o crescimento da área plantada no Brasil, contribuindo também significativamente na mudança do modelo integrado (floresta-indústria) para um modelo de mercado (indústria-silvicultores). Sem dúvida, os programas de fomento florestal também contribuíram fortemente para essa mudança de modelo.

Na busca de maior rentabilidade da atividade, houve também um avanço tecnológico significativo em biotecnologia, com o desenvolvimento de clones mais produtivos e resistentes a doenças e pragas; nos processos de silvicultura e colheita, com uma mecanização intensiva; e nos processos de gestão e tecnologia da informação. Verificou-se também um avanço no desenvolvimento de novos produtos e processos industriais, com o surgimento, em momento mais recente, do conceito de biorrefinarias.

A Figura 6 sumariza o breve histórico da silvicultura Brasileira apresentada nos parágrafos acima



Figura 6 – Breve histórico da silvicultura brasileira
 Fonte: Pöyry

Contexto e Tendências

Com aproximadamente 7,6 milhões de hectares, a silvicultura está frente a um grande desafio: aumentar a produtividade de suas florestas e reduzir seus custos de produção para manter a competitividade da indústria florestal Brasileira. Para enfrentar esse desafio, a silvicultura brasileira deve equacionar pelo menos três questões.

A primeira é o seu custo de produção. Somente nos últimos cinco anos, os custos de produção da matéria prima madeira subiram a uma taxa média de 10,8% ao ano (INCAF Pöyry), contra um índice geral de preços da ordem de 6,0% (IPCA), criando um gap acumulado da ordem de 25%. É consenso que o caminho para a redução dos custos de produção passa por investimentos tecnológicos e melhoria dos processos operacional e gerencial, com foco nos recursos humanos.

A segunda questão a ser enfrentada é a estagnação da produtividade florestal. A produtividade florestal brasileira vem caindo significativamente devido às novas fronteiras, à queda dos investimentos e ao limitado investimento tecnológico. Consciente desse diagnóstico, a silvicultura brasileira vem realizando investimentos significativos em biotecnologia, buscando ganhos de produtividade da ordem de 15% a 20%. Como ameaça adicional a essa meta tem-se as mudanças climáticas, as quais já são uma realidade para a silvicultura brasileira.

A terceira questão a ser enfrentada é a necessidade de inovação tecnológica. Para isso, está buscando e desenvolvendo novos processos e tecnologias para viabilizar a chamada silvicultura de precisão. Nesse contexto, tem por objetivo aumentar significativamente o grau de mecanização de suas operações.

O setor como um todo já vem equacionando essas questões nos últimos anos, com resultados positivos, mas há ainda um longo caminho a percorrer.

Mercado Brasileiro de Papel (2004 a 2014)

Introdução

A produção de papéis no Brasil cresceu no período considerado cerca de 3% a.a, acompanhando o crescimento da demanda no mercado doméstico nesse período. Nos últimos 10 anos, os maiores destaques de crescimento na indústria brasileira foram os papéis para embalagem e os papéis *tissue*.

Devido às melhorias de condições de higiene e saúde mundiais e o crescente número de pessoas saindo das condições de pobreza absoluta, o consumo de papéis sanitários (*tissue*) deverá continuar crescendo em todo o mundo e especificamente na América Latina. Este fato irá impactar positivamente o crescimento do consumo de celulose BHKP.

Mesmo com o crescimento baixo da produção industrial brasileira, nos últimos anos as embalagens de papelão tem se mantido como um mercado promissor, atraindo investimentos em produção e desenvolvimento e aumentando a competitividade em relação aos demais materiais utilizados nas embalagens.

Panorama da Indústria de Papel na América do Sul

Estima-se que o mercado de papel na América do Sul cresça a uma taxa 2%/a no período de 2013-2030. A figura 7 apresenta uma estimativa do crescimento da demanda de papel na América Latina.

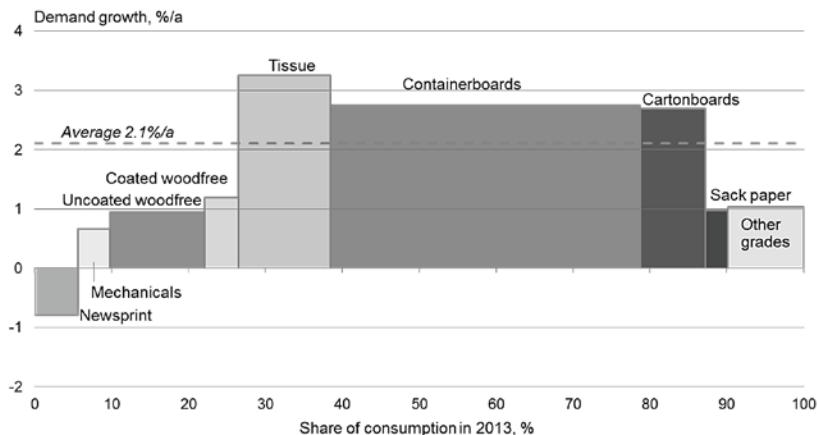


Figura 7 – Breve histórico da silvicultura brasileira
Fonte: Pöyry

Capacidade de Produção de Papéis na América do Sul

O Brasil é o maior produtor de papéis da região, sendo que o maior volume produzido refere-se a papéis *Containerboard* (para embalagens corrugadas). As

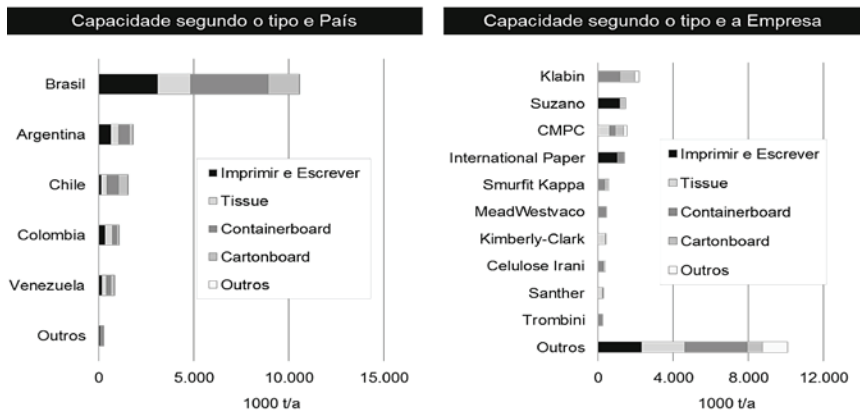


Figura 8 – Produção de papel segundo o tipo e país e segundo o tipo e a empresa
Fonte: Pöyry

principais empresas produtoras de papel na América do Sul são Klabin, Suzano, CMPC e International Paper, todas elas com presença no mercado brasileiro. A figura 8 apresenta a capacidade de produção de papéis segundo o tipo e país e segundo o tipo e a empresa.

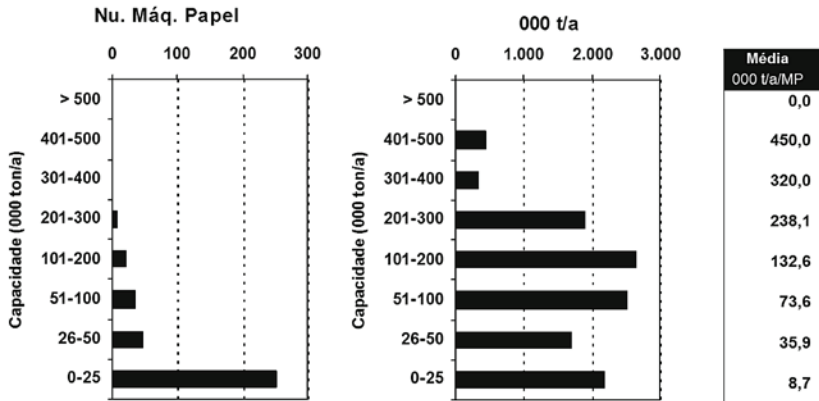


Figura 9 – Número de máquinas de papel por capacidade
Fonte: Pöyry

Caracterização da Indústria de Papel no Brasil

A figura 10 mostra os principais tipos de papéis produzidos no Brasil:

Papel Jornal	Tissue / Fins Sanitários
Imprimir e Escrever	Higiênico
UWF (Uncoated woodfree) Offset, Bond	Guardanapos
CWF (Coated woodfree) Couché	Lenços
Monolúcido	Papel Toalha
Embalagem	Cartão
Kraftliner	Duplex
Testliner	SBS/ Folding
Glassine	WLC
Kraft Branco	Químico / Papéis especiais e outros
Kraft Natural	Diversos outros tipos
Sacos Kraft	
Ondulado	
White Top Liner	

Figura 10 – Principais tipos de papéis produzidos no Brasil
Fonte: Pöyry

Produção Brasileira de Papel (2000-2014)

A produção brasileira de papel em 2013, apresentada na figura 11, foi de 10,4 milhões de tons, com um crescimento de 1,8% a.a. entre 2012 e 2013. No entanto, em 2014 houve uma redução na produção de 0,5%. O crescimento médio da produção brasileira de papel entre o ano de 2000 e 2014 foi de 2,7% a.a.

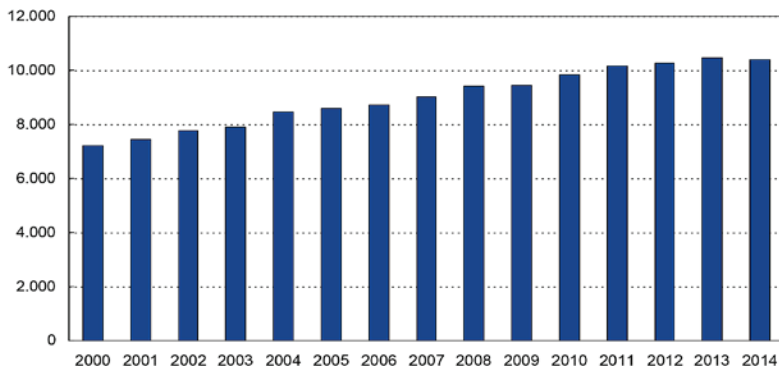


Figura 11 – Produção brasileira de papel (2000 – 2014)

Fonte: Bracelpa

Produção Brasileira de Papéis Segundo o Tipo (2000-2014)

A produção total de papéis no Brasil em 2014 foi de 10,39 milhões de tons. Desse total os papéis para embalagens corrugadas são os principais tipos produzidos no Brasil, representando 52% do total, a seguir aparecem os papéis para imprimir e escrever com cerca de 29% do total. A figura 12 apresenta a produção de papel por tipo nesse período.

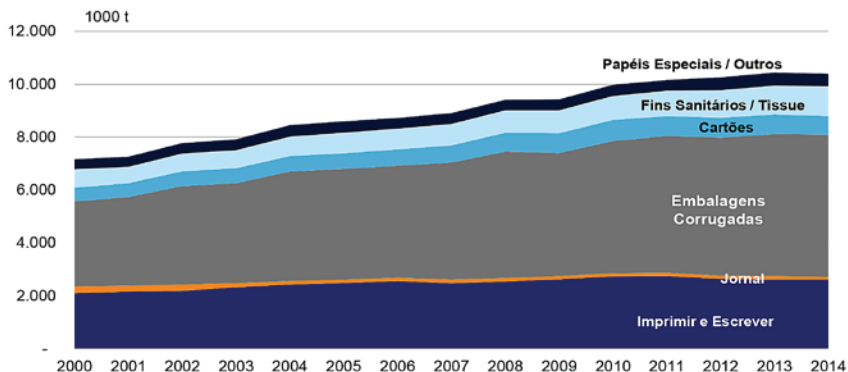


Figura 12 – Produção brasileira de papel por tipo (2000 – 2013)

Fonte: Bracelpa/ibá

Os papéis para embalagem e imprimir e escrever são os grupos de produtos mais relevantes para a indústria brasileira de Papel. Os papéis para embalagens corrugadas no Brasil tem tido crescimento constante e ligeiramente superior ao crescimento do PIB neste período, como mostra a figura 13.

Papel	2000	2014	Crescimento médio /a.a. (%)
Embalagem	3.209	5373	3,8%
Fins Sanitários / Tissue	697	1.096	3,4%
Cartões	519	739	2,7%
Papéis Especiais / Outros	378	496	1,2%
Imprimir e Escrever	2.093	2.621	1,7%
Jornal	266	128	-4,6%
Total	7.162	10.444	2,7%

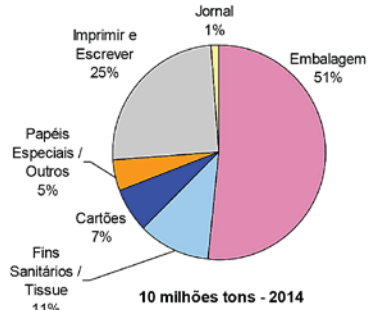


Figura 13 – Crescimento da produção brasileira de papel por tipo (2000 – 2014)
Fonte: Bracelpa

Papéis para embalagem e fins sanitários apresentam as maiores expectativas de crescimento para a próxima década (2014 – 2020). A Pöyry estima uma taxa de crescimento em torno de 4% a.a. para os papéis de fins sanitários e 3% a.a. para papéis para embalagens até 2020.

O Brasil possui uma indústria de papéis especiais (térmicos, *carbonless*, *glassine*, etc) de porte médio, com uma capacidade instalada total de cerca de 600 mil ton/ano.

Produção Brasileira e Consumo Aparente de Papel (2000-2014)

Tradicionalmente o consumo aparente brasileiro de papel é muito próximo da produção local, indicando baixa abertura para o mercado internacional. A figura 14 mostra a produção e o consumo aparente de papel no período de 2000 a 2014.

O consumo per capita de papel no Brasil ainda é bastante inferior ao dos países europeus, EUA, Canadá, Japão e Coreia. Há, portanto, um espaço para crescimento significativo nos próximos anos.

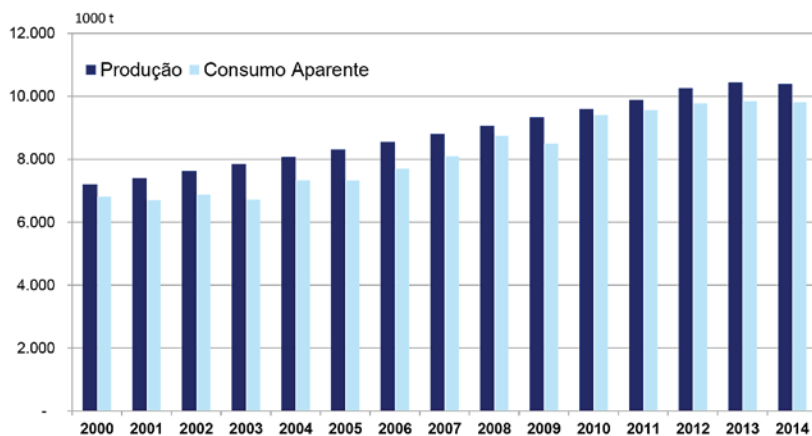


Figura 14 – Produção brasileira e consumo aparente de papel (2000 – 2014e)

Fonte: Bracelpa

Consumo Aparente de Papel no Brasil (1000t)

O Brasil exporta principalmente papéis de Imprimir e Escrever e *Kraftliner*, importando Papel Jornal, LWC, SC, CWF e outros tipos de papéis especiais.

O consumo per capita brasileiro cresceu 10 Kg entre 2005 a 2014, permanecendo praticamente estável nos últimos 5 anos. A figura 15 mostra a evolução desse consumo.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Produção	8.315	8.558	8.807	9.065	9.329	9.602	9.882	10.260	10.444	10.397
Consumo Aparente	7.328	7.702	8.099	8.755	8.505	9.406	9.562	9.781	9.852	9.813
Importação	770	967	1.097	1.328	1.085	1.502	1.455	1.396	1.274	1.262
Exportação	2.039	1.990	2.006	1.982	2.008	2.074	2.052	1.875	1.866	1.846
Consumo Per Capita (Kg/hab)	39	41	44	46	44	49	50	50	49	49

Figura 15 – Produção brasileira e consumo aparente de papel (1000t)

Fonte: Bracelpa

Exportações Brasileiras por Região

No mercado de papéis, a América Latina é o destino de mais da metade das exportações brasileiras. O total das exportações de janeiro a dezembro de 2014 foi de 1.846 milhões de tons. A figura 16 mostra a participação de cada região nas exportações no mundo.

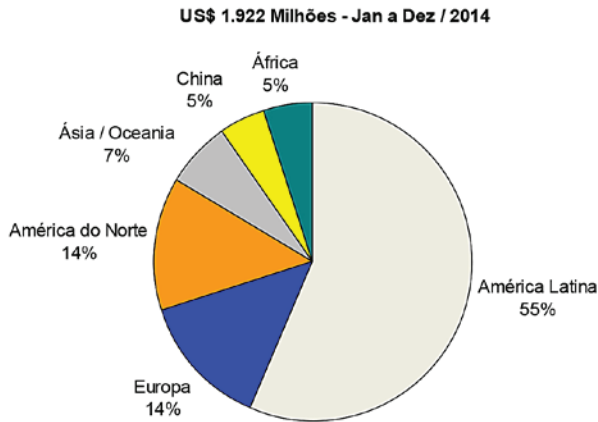


Figura 16 – Participação nas exportações de papel pelo mundo (%)
 Fonte: Bracelpa

Principais Produtores de Papéis para Papelão Ondulado no Brasil

A figura 17 apresenta os principais produtores de papéis corrugados no Brasil.

É uma indústria relativamente pulverizada, com a Klabin detendo cerca de 25% de *market share*, seguida pela Rigesa com 11%. Os grupos IP e Irani vêm ampliando a sua participação no mercado após as aquisições da Orsa Embalagens e da São Roberto, respectivamente.

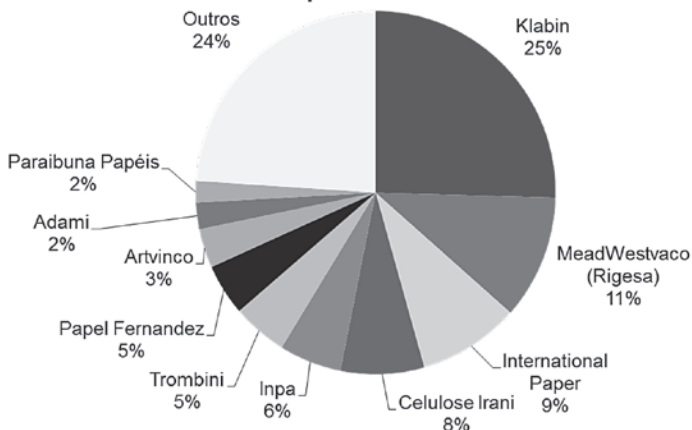


Figura 17 – Principais produtores de papéis corrugados no Brasil em 2014(%)
 Fonte: Bracelpa

Produção de Caixas, Acessórios e Placas

A produção total de caixas, acessórios e placas em 2013 foi de 3,4 milhões de ton. O mercado para caixas, acessórios e as chapas de papelão ondulado tem uma baixa concentração. Os 5 maiores produtores são responsáveis por apenas 38% do volume total, sendo que aproximadamente 43% do mercado é atendido por empresas de pequeno porte. A figura 18 mostra a participação na produção dos principais produtores de caixas, acessórios e placas no Brasil em 2013.

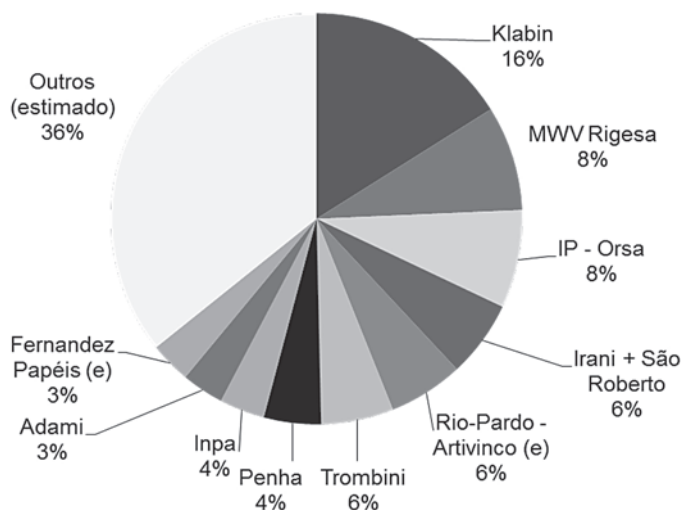


Figura 18 – Principais produtores de caixas, acessórios e placas no Brasil em 2013 (%)
Fonte: ABPO

Oferta e Demanda de Papéis Corrugados

Tradicionalmente o consumo aparente brasileiro é muito próximo da produção local. As exportações referem-se principalmente a papéis *Kraftliner*.

O acréscimo de capacidade em 2012 pela Rigesa de 300 mil ton/a de *Kraftliner* e 150 mil ton/a de papelão ondulado deverá atender o crescimento da demanda prevista para os próximos 5 anos.

Há um excedente de produção, principalmente de *Kraftliner*, exportando-se em torno de 400 mil ton/a de papéis corrugados.

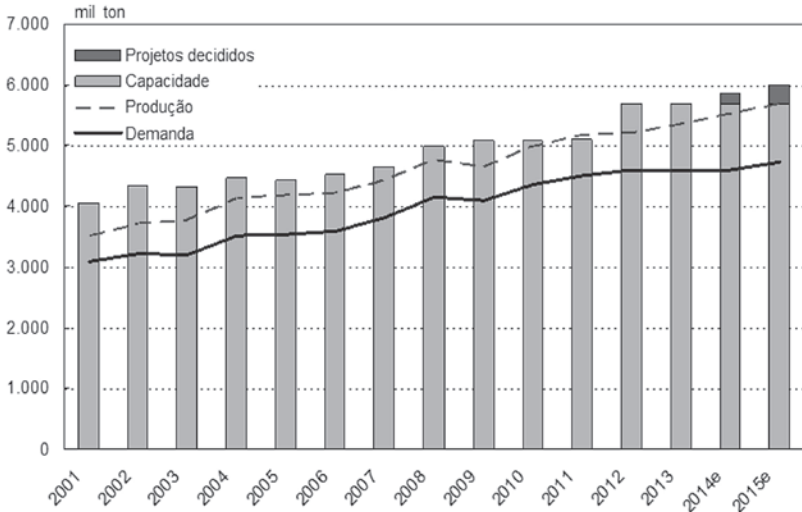


Figura 19 – Oferta e demanda de papéis corrugados
 Fonte: Bracelpa / Pöyry

Principais Produtores de Papel para Embalagens Containerboard – 2014

A capacidade instalada total para embalagens corrugadas “containerboard” no Brasil foi de 3,9 milhões de toneladas em 2014. A Klabin é o maior produtor brasileiro de papéis para embalagens, seguida pela Rigesa, International Paper e Celulose Irani. A figura 20 mostra os principais produtores de embalagens Containerboard em 2014.

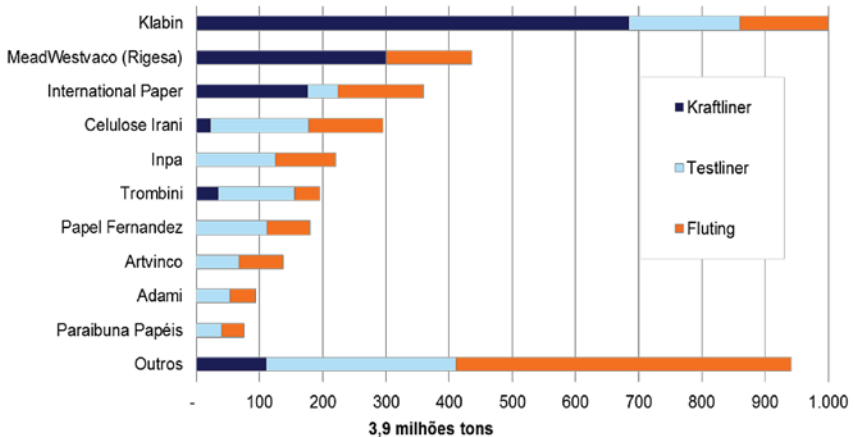


Figura 20 – Principais empresas produtoras de Embalagens Containerboard em 2014
 Fonte: Pöyry

Maiores Produtores de Papéis Tissue no Brasil – 2013

No Brasil, os 10 maiores produtores representam 63% da capacidade instalada e os 20 maiores produtores do Brasil representam 82% da capacidade total. Neste caso percebe-se que não há uma grande concentração no mercado.

A líder Santher representa cerca de 14% da capacidade total instalada (cerca de 1,6 milhões ton/ano), seguida pela Mili (9,5% do total), CMPC (9%) e Kimberly-Clark com 8,5% do total. A figura 21 apresenta os principais produtores de papéis *Tissue* no Brasil em 2013.

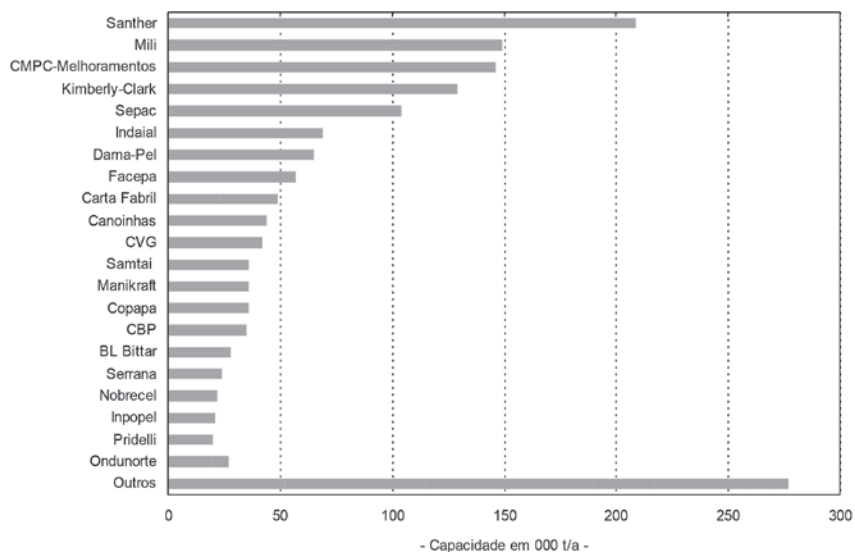


Figura 21 – Principais empresas produtoras de Papéis Tissue no Brasil em 2014

Fonte: Pöyry

Evolução do Consumo Brasileiro de Papéis Tissue por Tipo

A queda das vendas do papel de folha simples e o crescimento dos papéis de folha dupla são uma tendência mundial e acentuada no Brasil devido à maior mobilidade social.

Em 2007 a participação no mercado brasileiro de papéis folha dupla era de apenas 15%. Entre 2009 a 2012 as vendas de papel das chamadas linhas “*premium*” cresceram 17% a.a., contra um pequeno aumento de 1% do folha simples. Já há oferta de produtos com folha tripla. A figura 22 apresenta a evolução do consumo brasileiro de papéis *tissue* por tipo.

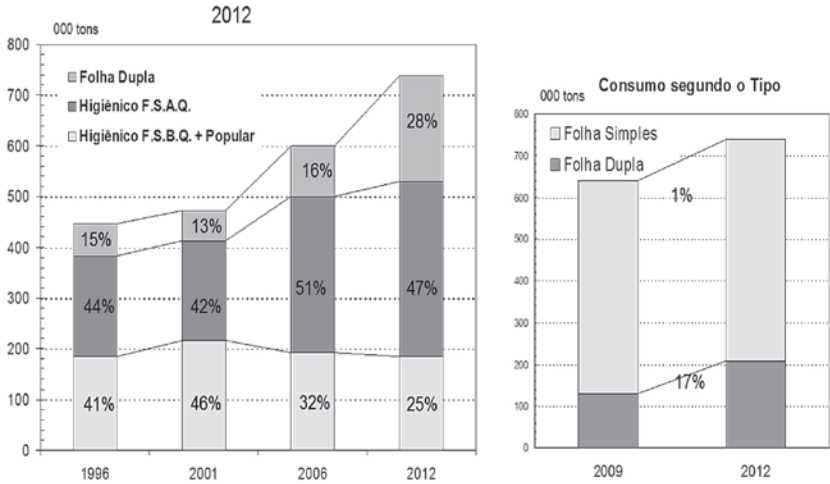


Figura 22 – Principais empresas produtoras de Papéis Tissue no Brasil em 2014

Fonte: Pöyry

Papéis de Imprimir e Escrever no Brasil

Com poucos investimentos nos últimos 15 anos, a produção brasileira é próxima à capacidade instalada.

O consumo aparente tem se reduzido nos últimos 3 anos devido ao baixo crescimento do consumo e aumento da importação de produtos editoriais já impressos. A figura 23 apresenta a evolução da produção e consumo de papéis de imprimir e escrever no Brasil no período de 1998 a 2014.

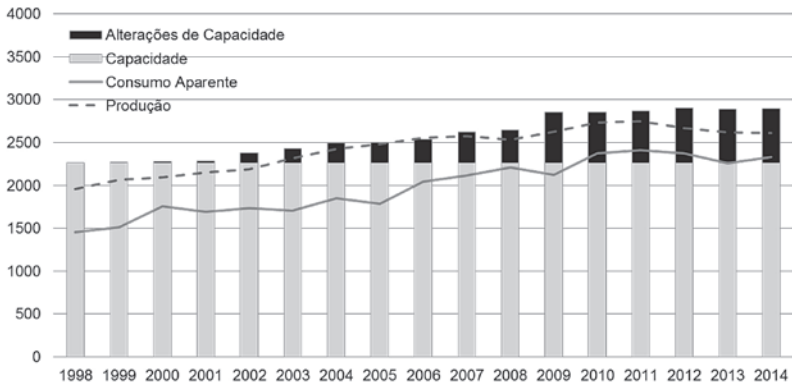


Figura 23 – Evolução da produção e consumo de papéis de imprimir e escrever (000t)

Fonte: Pöyry

A figura 24 apresenta a Suzano e International Paper como os maiores produtores de papéis de Imprimir e Escrever no Brasil em 2014.

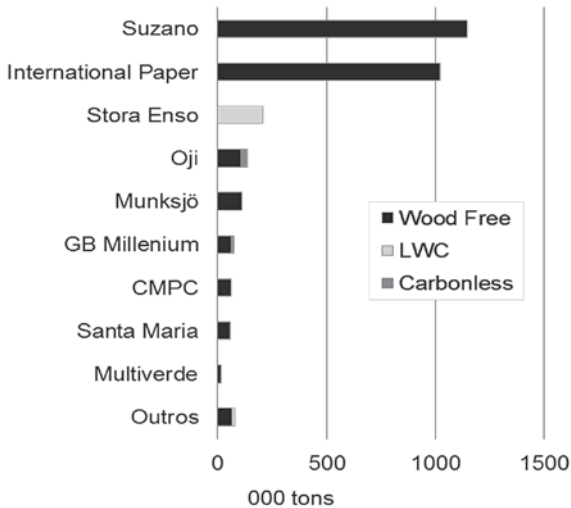


Figura 24 – Maiores produtores de papéis de imprimir e escrever em 2014 no Brasil
 Fonte: Pöyry

Outras características percebidas são:

- Internacional Paper e Suzano são os grandes produtores de papéis UWF;
- O mercado de papéis *cut-size* é disputado pela Internacional Paper e Suzano, com pequena participação da GB Milenium;
- A Suzano e a Munksjö são os principais concorrentes no mercado de CWF;
- A Stora Enso é a única produtora de LWC no Brasil;
- A Oji Paper destina sua produção principalmente para a produção de papéis térmicos e *carbonless*;
- Os demais produtores buscam nichos de mercado com a produção de papéis direcionados para a produção de cadernos ou embalagens;
- O mercado gráfico é disputado por todos os produtores havendo diferenciação em relação à qualidade e tamanhos de lote oferecidos.

Papéis Especiais no Brasil

Depois de 2010 houve um crescimento do consumo aparente de papéis especiais, passando o Brasil a importar mais que exportar estes tipos de papéis. Houve um crescimento da produção local, mas ainda insuficiente para atender o crescimento da demanda. A figura 25 apresenta a evolução da produção e consumo de papéis especiais (outros).

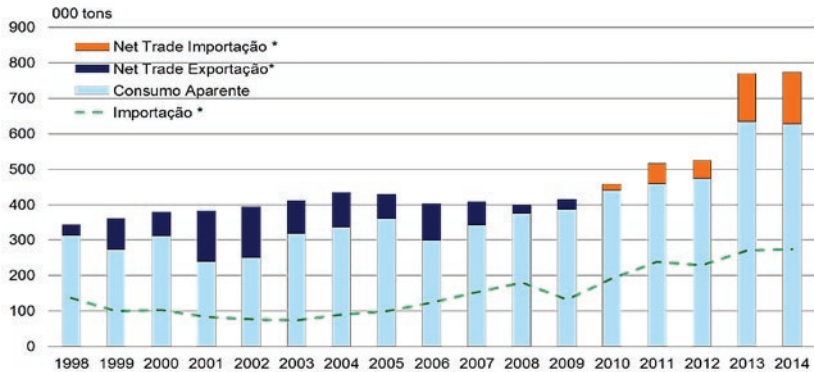


Figura 25 – Evolução da produção e consumo de papéis especiais no Brasil

Fonte: Pöyry

Entre os papéis especiais produzidos pelo Brasil cabe destacar os tipos: térmico, *glassine* e C1S (*coated one side*), com mercado doméstico crescente. Os papéis “*carbonless*” ainda possuem produção significativa no Brasil, mas a tendência é a redução de sua demanda durante esta década. A figura 26 apresenta os principais produtores de papéis CWF e papéis especiais em 2014.

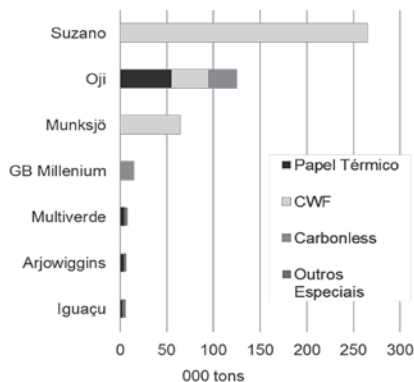


Figura 26 – Maiores produtores de papéis CWF e papéis especiais em 2014 no Brasil

Fonte: Pöyry

Entre os papéis especiais produzidos pelo Brasil cabe destacar os tipos: térmico, *glassine* e C1S (*coated one side*), com mercado doméstico crescente.

Os papéis “*carbonless*” ainda possuem produção significativa no Brasil, mas a tendência é a redução de sua demanda durante esta década.

Análise da Demanda de Aparas no Mercado Brasileiro

Devido à falta de celulose de fibra longa no mercado brasileiro, um dos importantes substitutos desta matéria prima é a reciclagem de aparas. A reciclagem de fibras celulósicas tem crescido nos últimos anos no Brasil e chegou em 2014 a 4,5 milhões de toneladas. A figura 27 mostra o consumo de aparas obtidas no mercado brasileiro no período de 1997 a 2014.

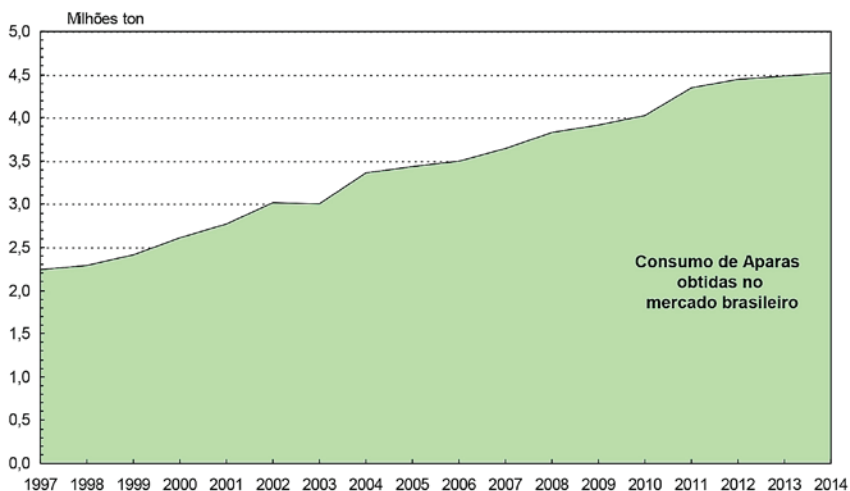


Figura 27 – Consumo de aparas obtidas no mercado brasileiro no período de 1997 a 2014

Fonte: Bracelpa

Considerações sobre preços das Aparas

Mesmo com a queda na demanda por aparas brancas, os preços não tem sofrido redução significativa e a esperada redução na geração deverá manter os preços estáveis nos próximos meses.

A recente redução da produção brasileira de embalagens está provocando uma queda no preço dos papéis reciclados. De janeiro de 2014 até agosto de 2014, a perda do valor das aparas foi perto de R\$ 100,00/t, R\$

40,00/t somente em agosto, com o preço médio das aparas ficando próximo a R\$ 442,24/t fob.

O preço no longo prazo deverá continuar a aumentar, refletindo: aumento do custo de transporte, maior regulamentação do mercado de trabalho, escassez fibra longa no Brasil e a já conquistada alta taxa de recuperação de papéis existente no Brasil.

A implementação efetiva da PNRS e seus efeitos esperados nas taxas de recuperação de papel e conseqüente aumento da disponibilidade de fibra reciclada deverá ser lenta nos próximos 5 anos. As empresas Aparistas deverão continuar a serem os principais fornecedores desta matéria prima. A figura 28 mostra a evolução do preço do papel reciclado entre 2006 a 2014.

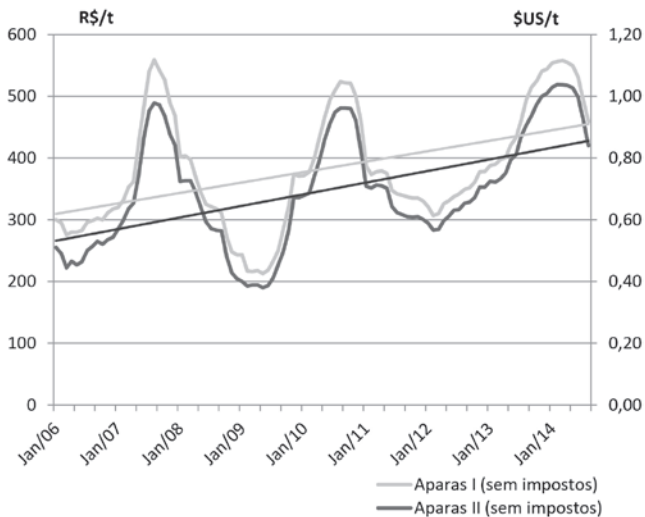


Figura 28 – Evolução do preço do papel reciclado no período de 2006 a 2014

Fonte: Anguti

Novas Fronteiras – Novos Usos – Papéis no Brasil

Oportunidades no Varejo

Todo o conjunto pode ser substituído evitando a necessidade de desempacotar, reduzindo custo com mão de obra.

No Brasil, os “Atacarejos” são a modalidade de venda que mais cresce. Estes pontos de venda exigem um formato novo de embalagem.

Novos formatos e propostas de embalagens, tanto no varejo como nas soluções industriais são possíveis.

A evolução tecnológica do papel e seus compósitos pode assegurar novos mercados.

Novos Formatos em Papéis Tissue

Existem novidades nos formatos que buscam otimizar a logística: o Du-alette Duo (inclui rolo dentro do tubete,) e o Compacto (tubete comprimido).

No exterior, a tendência é a eliminação do tubete, reduzindo o consumo do papel cartão.

O mercado para papéis *tissue* cresce no volume consumido, mas também no número de aplicações e de segmentação de produtos.

Nanocelulose – Uso na Indústria Papeleira

Pesquisas apontam novos materiais e novos usos para a nanocelulose na indústria de papel:

- Barreira a oxigênio no Papel;
- Filme transparente;
- Materiais mais leves e resistentes;
- Tintas com cobertura mais homogênea;
- Novas Embalagens.

Desafios e oportunidades para a indústria papeleira no Brasil:

- Crescimento sustentável do mercado interno de papéis tissue (principalmente NE e CO do Brasil);
- Novas fábricas de tissue em todo o Brasil. Potencial Processo de Consolidação;
- Crescimento sustentável e consolidação do mercado de papéis corrugados para embalagens;
- Maior presença no Brasil de empresas globais no segmento de tissue e papéis corrugados;
- Consolidação de parques produtores de embalagens de papel nas regiões Nordeste e Centro Oeste;
- Crescimento do mercado de cartões;
- Aumento da exportação de Papéis Kraftliner e cartões LPB (Liquid Packaging Board).

Panorama do Mercado Brasileiro de Celulose

A indústria brasileira de celulose apresenta dinâmica bastante diferenciada em relação à indústria de papel. A indústria de celulose está mais voltada para exportação e a indústria papelreira tem seu foco principal no mercado interno.

A figura 29 mostra a produção total de celulose em 2013, que foi de 15,1 milhões ton. O aumento da produção deveu-se à entrada da Eldorado. Em 2014 estima-se que a produção total foi de cerca de 16,5 milhões ton. com o startup da Suzano Imperatriz.

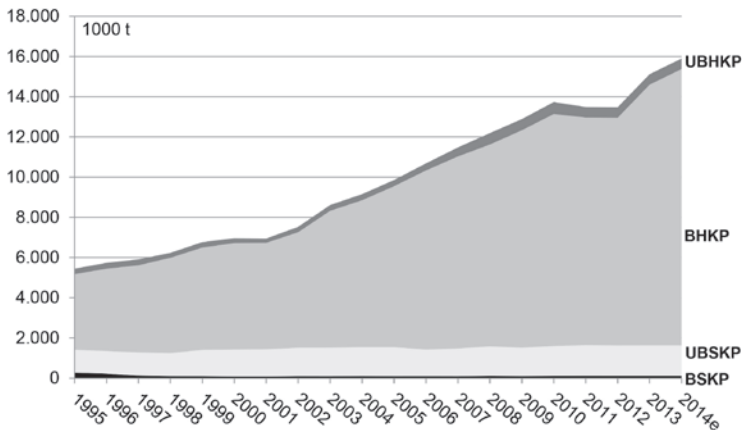


Figura 29 – Produção brasileira de celulose por tipo (1995 – 2014*)

Fonte: Bracelpa (não inclui pasta mecânica)

Durante 2014 o setor exportou cerca de 7,3 bilhões US\$, sendo que 5,3 bilhões US\$ correspondem à exportação de celulose e 2,0 bilhões US\$ à exportação de papel, originando um saldo positivo exportador de 5,5 bilhões de US\$ (fonte SECEX/MDIC). Praticamente toda a produção de celulose exportada é de celulose *Kraft* de Eucalipto (BEKP).

Os dados disponíveis neste momento para produção de celulose mostram a seguinte situação:

- A produção brasileira de celulose tem se ampliado principalmente para a exportação, com um pequeno crescimento do consumo interno. Praticamente 88% do total produzido refere-se a celulose de fibra curta branqueada (BHKP);
- Os destinos da exportação de celulose em 2014 foram: Europa 39%, América do Norte 18%, Ásia (exceto China) 8%, China 32% e Outros 3%.

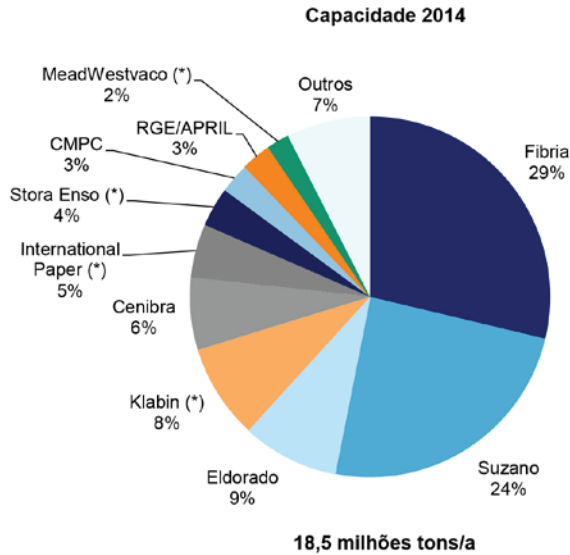


Figura 31 – Capacidade de produção por produtor. (*) Produtores de Celulose Fibra Longa não Branqueada
Fonte: Poyry

Devido à competitividade de custo da celulose de eucalipto produzida no Brasil, existe um esforço tecnológico no sentido de substituir as celuloses importadas pela produção nacional, inclusive no mercado de caixas de papelão ondulado.

A figura 32 apresenta uma Tabela de consumo aparente de celulose no Brasil entre os anos de 2005 a 2014.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014*
Produção	10.352	11.180	11.998	12.697	13.315	14.164	13.992	13.977	15.129	16.462
Importação	310	326	292	325	359	412	392	411	430	419
Exportação	5.441	6.161	6.484	7.040	8.229	8.375	8.478	8.513	9.430	10.464
Consumo Aparente	5.221	5.345	5.906	5.982	5.445	6.201	5.906	5.897	6.129	6.417

Os números anteriores mostram o forte crescimento da produção/exportação (4,8% a/a) e menor crescimento do consumo aparente (2,2% a/a).

A Importância Crescente da Celulose de Mercado no Contexto Global. O Caso do Brasil

Uma das consequências da transferência maciça dos meios de produção de manufaturados, especialmente bens de consumo, das regiões desenvolvidas para países com mão de obra mais barata foi, como já foi apontado, o aumento do poder aquisitivo de grandes massas de população, especialmente asiáticas, e da melhoria acentuada do padrão de vida. A China tem sido o caso mais relevante, porém a mesma evolução é cada vez mais patente em países do Sudeste Asiático e na Índia. A América Latina e a África têm-se destacadas como os grandes fornecedores de “*commodities*” suportando este “*boom*”.

Na última década, a grande maioria do incremento na produção de papel foi efetuado na Ásia, e em particular na China, a ponto de se debater hoje com um problema de sobre capacidade, principalmente para papéis de imprimir e escrever e embalagens.

A Figura 33 mostra a estrutura atual do mercado de abastecimento de fibras para produção de papel.

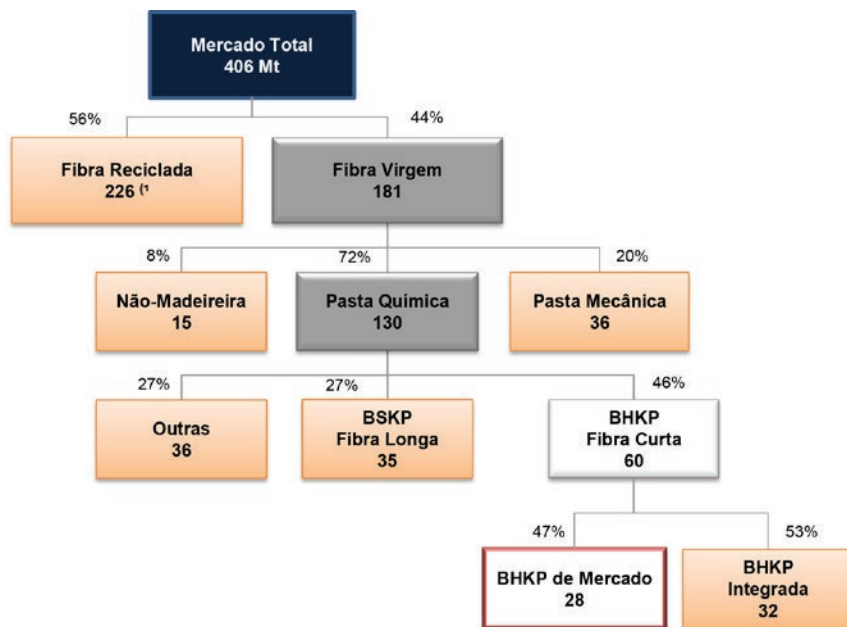


Figura 33 – Estrutura atual do mercado de abastecimento de fibras para produção de papel
Fonte:Pöry

Embora a grande fonte de suprimento de fibras em nível global seja, e continuará sendo no futuro próximo, as fibras recicladas (*waste paper*), a participação da celulose de mercado tem crescido rapidamente, tendo subido de cerca de 24% em 1995 para 35% em 2013, devendo atingir aproximadamente 42% em 2025.

As forças motoras atrás deste fato baseiam-se na situação deficitária de suprimento de fibras na Ásia. Embora a participação da fibra reciclada ainda venha a crescer marginalmente, como a produção de papel se tem concentrado na Ásia sem a contrapartida do crescimento da disponibilidade da produção equivalente de celulose por falta de matéria prima fibrosa adequada (madeira), este déficit tem sido compensado pela importação de celulose virgem.

O suprimento de papel reciclado, carecendo ainda de circuitos adequados locais de coleta, e por escassez em quantidade e qualidade da parte importada (a maioria), não tem dado conta deste déficit. Acrescentando a isso, temos o fechamento, por questões de natureza ambiental, de grande número de pequenas fábricas baseadas em plantas anuais como bagaço, palha de arroz, bambu etc. Nos mercados desenvolvidos, fábricas antigas e obsoletas são fechadas por falta de competitividade.

A figura 34 mostra esta participação crescente, que em grande maioria consiste em celulose de fibra curta. No caso do Brasil, leia-se Celulose *Kraft* de Eucalipto (BEKP- *Bleached Eucalyptus Kraft Pulp*).

A alta produtividade das plantações brasileiras de eucalipto motivou nos últimos anos o aparecimento de fábricas de celulose “estado da arte” de alta capacidade, voltadas para a exportação.

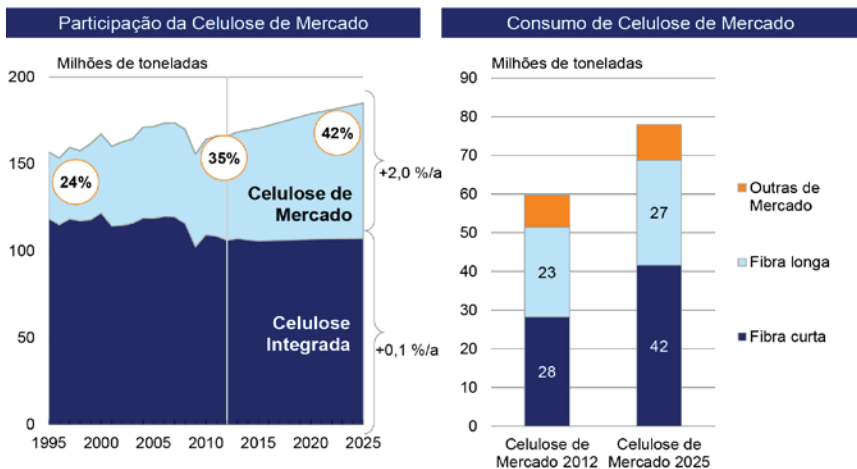


Figura 34 – Participação e Consumo da Celulose de Mercado no Contexto Global
Fonte: Pöyry

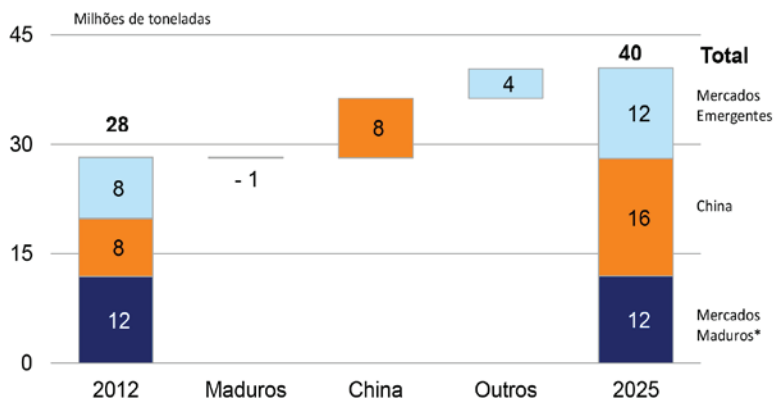


Figura 35 – Crescimento global da demanda de fibra curta de mercado

Fonte: Pöyry

A Figura 35 mostra a previsão do destino da produção das novas fábricas de celulose de fibra curta para mercado, ficando clara a importância da China como grande motor de crescimento do Setor. A maior parte da demanda Chinesa por celulose será suprida por importações da América Latina e de seus vizinhos asiáticos

A Figura 36 indica o destino final por qualidade de papel. Fica claro que o consumo crescente de “tissue” na Ásia impulsiona as exportações brasileiras de celulose, registrando-se crescimentos menores nas quantidades destinadas a papéis de imprimir e escrever e papéis cartão.

A celulose de eucalipto tem-se mostrado uma fibra com excelência para a fabricação de papéis “tissue”, devido às suas qualidades de maciez, volume (*bulk*) e a capacidade de absorção. Por este motivo tem vindo a substituir a fibra longa nesta aplicação no mercado norte americano, e em menor grau, no mercado europeu.

A escassez de papel reciclado de qualidade para exportação (aparas de primeira) adequadas à fabricação de papéis sanitários, tem-se tornado cada vez mais escassa devido à diminuição do consumo de papéis gráficos nos países desenvolvidos (principal fonte de exportação para a Ásia). Isso tem levado a uma crescente “virginização” das fibras utilizadas, impulsionando o consumo de celulose virgem de mercado.

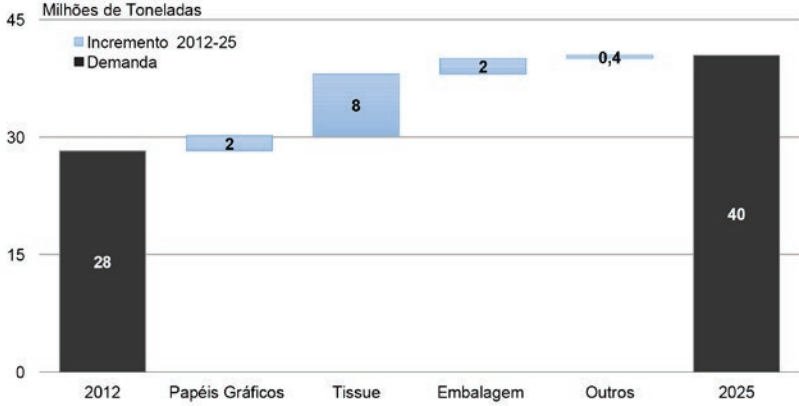


Figura 36 – Destino final por qualidade de papel
 Fonte: Pöyry

Atualmente o País ocupa uma posição de liderança na produção e exportação de BHKP (*Bleached Hardwood Kraft Pulp*), como mostra a Figura 37. Esta importância tende a aumentar com a futura entrada de projetos já em andamento, como a expansão da Celulose RioGrandense (CMPC) na sua fábrica de Guaíba, no Rio Grande do Sul e a nova fábrica da Klabin em Ortigueira no Paraná. O incremento de produção ocasionado pelos projetos de Eldorado, Fibria e CRPE (Celulose RioPardense) no Mato Grosso do Sul, e Lwarcel no Estado de São Paulo, deverão tomar forma durante a próxima década.

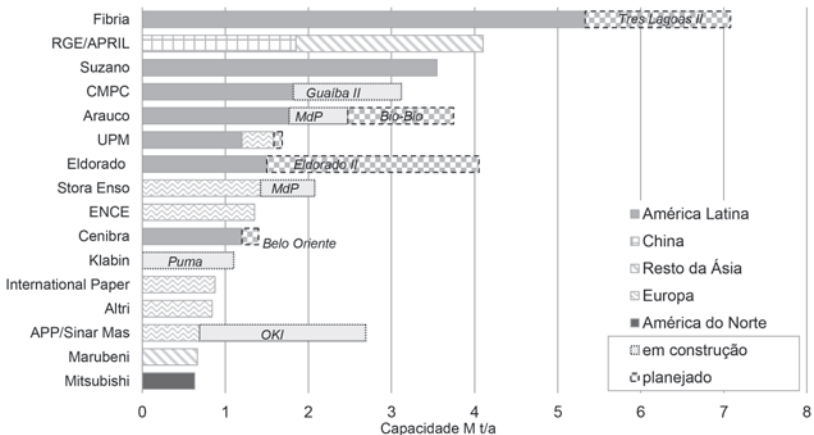


Figura 37 – Maiores Produtores mundiais de fibra curta e seus planos de investimento
 Fonte: Pöyry

Cabe notar que a indústria global de celulose e papel nos últimos anos tem presenciado um movimento sem precedentes no sentido de diversificar a sua produção, assim vemos um impulso novo no desenvolvimento de produtos, englobando não somente a área de cartões e papéis, mas focando igualmente fora dos limites do núcleo fabril, como biocombustíveis a partir da biomassa florestal, derivados da celulose, derivados da lignina, das hemiceluloses, etc.

O Brasil tem-se mostrado um líder na fronteira da biotecnologia, especialmente na área silvicultural, especialmente na área de engenharia genética e através do desenvolvimento de técnicas de clonagem seletiva.

Hoje os avanços adentram a área da transgenia, onde metodologia e equipamento de ponta são utilizados. Grandes grupos dispõem de instalações de pesquisas avançadas. Este esforço de pesquisa começa a ser orientada para a busca de novos produtos originados ao longo de toda a cadeia produtiva.

Contexto e Tendências

A produção brasileira de celulose para mercado continua mostrando um forte movimento expansionista, amparada pela exportação para as regiões emergentes grandes produtoras de papel. Por enquanto não se nota que a fibra longa venha a emular esta tendência, apesar das condições competitivas brasileiras, com a exceção, talvez, da produção de celulose “*fluff*”. É importante notar que as mesmas forças motoras que impulsionam o consumo de papéis sanitários suportam o consumo de “*fluff*”; fraldas, absorventes e outros usos menores. De qualquer maneira estamos falando de volumes mais bem reduzidos.

Embora o mercado nascente de fibra longa não branqueada, usada para embalagens, seja impulsionado regionalmente por uma certa escassez de papel reciclado disponível, o volume transacionado globalmente ainda não atingiu níveis significativos.

Alguns fortes desafios se colocam para a indústria de celulose brasileira para mercado.

Exemplos desses desafios são o crescente custo da terra e da mão de obra rural, a infraestrutura deficiente, a volatilidade do ambiente econômico, o arrefecimento da economia global e a polarização da demanda e do suprimento incrementais, com a China como grande comprador e o Brasil como grande fornecedor.

A indústria tem reagido a estes desafios através de práticas de governança otimizadas, mecanização da exploração florestal, aperfeiçoamento da base genética das suas plantações, melhor logística (na medida do possível) e o estabelecimento de facilidades de pesquisa e desenvolvimento.

XVIII

LA INDUSTRIA DE PULPA Y PAPEL EN CHILE

Javier González Molina¹

I. Introducción

Chile posee cerca de 13,6 millones de ha de Bosque Nativo y más de 2,5 millones de ha de plantaciones. Entre las especies de plantaciones se encuentran principalmente, *Pino radiata* y *Eucalyptus, globulus* y *nitens*. La ley de Fomento y Recuperación del bosque nativo, del 2008, autoriza planes de manejo para el recurso nativo, permitiendo extracción del crecimiento, lo cual equivale a aproximadamente 3,8 millones de ha con un volumen disponible de 12,5 millones de m³ anuales

Las plantaciones que satisfacen la demanda de la industria forestal, en un 97 % crece a una tasa de 42 millones de m³ anuales, quedando un excedente sin utilizar, de alrededor de 12 millones de m³. La industria de celulosa y papel consume cerca de 14 millones de m³, el aserrío 13 millones y tableros y partes y piezas de muebles, 3 millones de m³.

Un énfasis notable de la Industria de Celulosa y Papel de los últimos años, ha sido la de producir energía a partir de la biomasa, con la instalación de nuevas calderas y en estos momentos se vierten al sistema integrado, alrededor de 860 MW anuales.

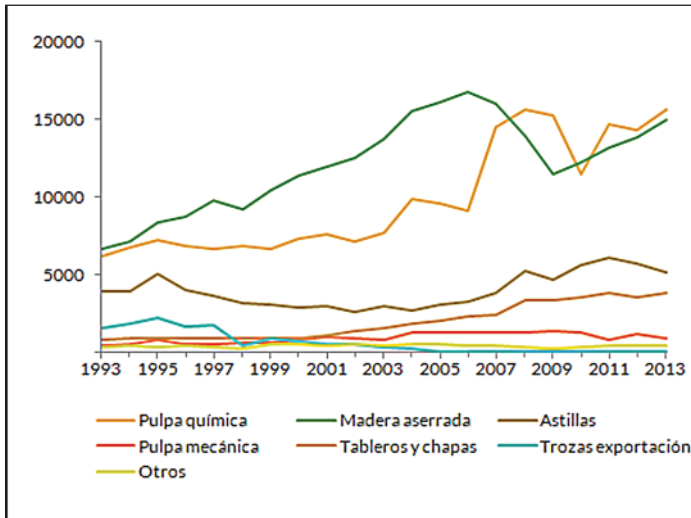
II. Principales grupos

Entre el grupo CMPC y Empresas Arauco, Chile, produce (2014), un total de 6,8 millones de toneladas, principalmente de celulosa blanca de fibra larga, celulosa blanca de fibra corta y papeles y cartones, tanto en el país como en sus filiales en Sudamérica.

1. Profesor Titular, Departamento de Ingeniería en Madera y sus Biomateriales, jagonzal@uchile.cl

En las últimas dos décadas, la industria forestal chilena ha experimentado un importante crecimiento en todas las actividades productivas que utilizan madera en trozas como materia prima. Esto, con la excepción de la exportación de trozas, que ha disminuido para dar paso a un incremento de la exportación de productos más elaborados, como la pulpa química y la madera remanufacturada

Consumo de trozas industriales según productos, 1992- 2012 (miles de m³ ssc)*



Fuente: Elaboración propia en base a INFOR: “Anuario Forestal 2014”, p. 67.

* m³ ssc: Metros cúbicos sólidos sin corteza de trozas

2.1. Grupo Arauco:

ARAUCO posee 1,6 millón de hectáreas de masa forestal distribuidas en Chile, Argentina, Brasil y Uruguay, las que proporcionan la materia prima para todos sus productos. El patrimonio, junto a una política de manejo sostenible implementada bajo estrictos estándares internacionales y la constante investigación e innovación aplicada al uso integral de las plantaciones, constituyen el modelo de negocio, la base de nuestra competitividad actual y futura. Entre los principales productos, se cuentan:

Rollizos Pulpables de Pino

Rollizos de pino Radiata de diferentes diámetros hasta 14cm. Largo 2.4m.

Rollizos Pulpables Eucaliptus

Rollizos de eucaliptus de diferentes diámetros y largo 2.4m.

Rollizos Aserrables Podados

Rollizos de pino Radiata de diferentes diámetros, desde 24cm, aunque en su gran mayoría mayor a 30cm., y que provienen de bosques podados, de modo que una importante proporción de su volumen está libre de nudos. Ello permite utilizarlo en la producción de madera aserrada y chapas de calidad “Libre de Nudos” o madera terciada con una cara sin nudos.

Rollizos Aserrables Regulares

Rollizos de pino Radiata de diferentes diámetros desde 18cm hasta 40 cm y largos desde 3,2m hasta 12m.

2.1.1 Celulosa

<p><i>Arauco</i> <i>BKP(Pino radiata)</i> <i>ALTO PARANÁ BKP</i> <i>(Pino Taeda)</i></p>	<p>Celulosa blanqueada de pino radiata y pino taeda, utilizada principalmente para la elaboración de papel de escritura de impresión, así como papeles de envolver y etiquetas. Además, se utiliza en papeles decorativos, decomurales y papeles de alimentos.</p>
<p><i>Arauco EKP (Eucalipto)</i></p>	<p>Celulosa blanqueada de eucalipto. Se utiliza en la elaboración de diversos tipos de papel, al igual que la celulosa BKP, pero además es materia prima para la elaboración de productos de papel tissue</p>
<p><i>Arauco UKP(Pino radiata)</i></p>	<p>Celulosa cruda (sin blanquear) de pino radiata. Se utiliza como materia prima para la fabricación de una amplia variedad de productos especializados filtros, material para embalaje, papeles como dialécticos, fibrocementos y otros</p>
<p><i>ALTO PARANÁ Fluff Pulp</i> <i>(Pino Taeda)</i></p>	<p>Celulosa fluff especialmente utilizada para la elaboración de productos altamente absorbentes como pañales desechables y productos de higiene femenina</p>

AraucoPly (Plywood)

Los tableros de AraucoPly alternan chapas de madera en forma perpendicular al sentido de las fibras con una excelente construcción interior, obteniendo un tablero de alta resistencia, tanto para usos estructurales como también para moldaje, mueblería y revestimientos. www.araucopy.com

Trupan (MDF)

Tablero producido con fibras de madera obtenida de troncos de Pino Radiata, descortezados y seleccionados, provenientes de plantaciones manejadas bajo el concepto de una continua y permanente reforestación. Con plantas de MDF en Chile, Brasil y Argentina, garantizamos la obtención del más versátil y MDF de color claro disponible en el mercado. www.trupan.com

Cholguan

Tablero de fibras de madera prensada a alta temperatura, de espesor delgado y de gran resistencia a la humedad. No lleva aglomerantes, sino únicamente la resina de pino radiata. De color café claro, su superficie es suave y homogénea. www.cholguan.cl

2.1.2. Gestión del grupo Arauco:

Se trata de garantizar el máximo retorno a los accionistas, a través de una gestión eficiente, responsable y de calidad en todos nuestros procesos, aplicando para ello sistemas y procedimientos

Que aseguren la maximización del negocio.

Se promueve el uso sustentable de los recursos naturales de su entorno, invirtiendo en investigación, innovación tecnológica y capacitación, para prevenir y reducir progresiva, continua y sistemáticamente los impactos ambientales de las actividades, productos y servicios. Disponer y aplicar los sistemas y procedimientos que nos permitan administrar los riesgos del negocio, evaluando regularmente el desempeño en todos los procesos, tomando a tiempo las medidas correctivas que sean necesarias y proporcionando información transparente, y oportuna acerca de los procesos. Difundir, capacitar e involucrar en el cumplimiento de estos compromisos a todos los trabajadores, contratistas y proveedores haciendo que esta política se implemente con la colaboración y esfuerzo de todos.

2.2. CMPC

2.2.1. Plantaciones propias

Actualmente CMPC cuenta con más de 982 mil hectáreas ubicadas en el sur de Chile y norte de Argentina.

De ellas, 740 mil hectáreas se encuentran plantadas y operan bajo estándares de manejo sustentable. En Chile, sobre un 75% de ellas han sido manejadas intensivamente (raleos y podas) para obtener madera de alto valor. La edad promedio de cosecha es entre 20 y 25 años, Con la reciente compra de la Empresa Guaiba, filial de Aracruz Celulose, CMPC adquirió 212 mil has en el sur de Brasil. CMPC Celulosa forma parte de uno de los mayores grupos forestales de Latinoamérica. Desde sus plantas ubicadas en Chile y Brasil, produce alrededor de 2,8 millones de toneladas de celulosa anualmente.

Posee cinco filiales: Forestal Mininco, CMPC Celulosa, CMPC Papeles, CMPC Productos de Papel y CMPC Tissue, con un total de activos de USD 9 mil millones y ventas por USD 3 mil millones distribuidas en los 5 continentes. El mayor componente de sus activos son las 794.000 hectáreas administradas por Forestal Mininco, compuestas por 540.000 de plantaciones de Pino y Eucaliptos en el centro sur de Chile y norte de Argentina. Estos bosques son los que aseguran una fuente sostenible en el tiempo de materia prima para el negocio industrial de Empresas CMPC.

2.2.2. Gestión de Empresas CMPC

Liderazgo y diversificación:

Empresas CMPC es uno de los operadores de mayor relevancia en la industria forestal a nivel mundial, contando con un alto patrimonio forestal – principalmente en Chile y Brasil –, y con un portafolio diversificado de negocios derivados de la cosecha forestal.

- **Competitividad en Costos:** Las plantaciones forestales de Empresas CMPC presentan ventajas competitivas en relación a empresas ubicadas en otros continentes, debido a la rapidez en el desarrollo de los activos biológicos (crecimiento de pinos y eucaliptos), además de cercanía entre los bosques y las fábricas, y entre las fábricas y los puertos. Esto permite a la Compañía enfrentar en forma adecuada escenarios de declive en los precios internacionales de celulosa.
- **Autoabastecimiento de Energía:** Las operaciones en Chile son capaces de autoabastecer el 82% de sus necesidades de consumo de energía a lo largo del proceso productivo y mediante cogeneración a base de biomasa, lo que constituye un ahorro relevante en costos e impulsa su capacidad competitiva.

Actualmente la Compañía se encuentra invirtiendo en 2 proyectos de co-generación en Chile, con lo que debería alcanzar la autosuficiencia energética en dicho país a partir de mediados de 2015.

- Grupo Controlador: la Compañía es controlada por la Familia Matte, uno de los grupos económicos de mayor solvencia en Chile, que ha demostrado capacidad financiera para acudir a los aumentos de capital ante requerimientos de financiamiento. Históricamente, por decisión estratégica la Compañía ha mantenido sólidas posiciones de liquidez, lo que le permite hacer frente a periodos de mayores requerimientos de caja operacionales, servicio de obligaciones y desembolsos en inversiones.

Segmento Celulosa

Este segmento opera a través de la filial CMPC Celulosa S.A., que cuenta con cuatro líneas de producción en Chile y una en Brasil. La producción de celulosa consta de dos tipos de pulpa, una de ellas denominada “celulosa kraft blanqueada fibra larga” o “BSKP” que se elabora a base de madera de pino radiata; y “celulosa kraft blanqueada de fibra corta” o “BHKP”, producida con madera de eucalipto. Actualmente la capacidad productiva de BSKP alcanza a 840 mil toneladas anuales, mientras que la de BHKP bordea 1,96 millones de toneladas al año. Cabe precisar que una vez que entre en operaciones la expansión de la planta en Guaíba, Brasil, lo que se espera ocurra durante el segundo trimestre de 2015, la capacidad de producción de BHKP se incrementará en 1,3 millones de toneladas anuales.

Alrededor de un 15% de la producción de celulosa se vende a empresas relacionadas que utilizan ésta como insumo para sus operaciones (segmentos Papeles y Tissue), y el porcentaje restante es exportado desde Chile y Brasil a América, Europa, Asia y Oceanía. En Chile, la producción de celulosa autoabastece cerca del 80% de sus necesidades energéticas. Además cuenta con una filial denominada Bioenergías Forestales S.A., que genera electricidad a base de biomasa, con una potencia instalada de 90 MW. Segmento Papeles CMPC Papeles es una de las áreas de negocio que utiliza la celulosa y el papel reciclado como insumo principal. El segmento cuenta con siete líneas de negocios, de las cuales una se dedica a la producción y comercialización de cartulina, otra de producir papeles para corrugar, fabricación de productos de embalaje (cajas de cartón corrugado, sacos industriales, entre otros), una subsidiaria distribuye papeles, y una última sociedad se dedica al reciclaje. La producción de cartulina la realiza Cartulinas

Segmento papeles

Sociedad Edipac S.A. comercializa los papeles en el mercado local, y Sorepa S.A. lleva a cabo las actividades de reciclaje de papeles y cartones, los que son reutilizados en los procesos productivos de CMPC. Segmento Tissue Al igual que el segmento papeles, CMPC Tissue es una de las áreas de negocio que se abastece de celulosa para elaborar sus productos, los que se clasifican en las siguientes categorías: i) Productos tissue, que corresponden a papel higiénico, servilletas, toallas de papel y toallas faciales y ii) Productos Sanitarios, que incluyen pañales, toallas húmedas y toallas femeninas. Además, elabora productos especializados para el consumo de instituciones y lugares públicos.

Este segmento cuenta con plantas de producción en diversos países, operando a través de las subsidiarias CMPC Tissue S.A. en Chile, La Papelera del Plata S.A. en Argentina, Melhoramentos CMPC Ltda. En Brasil, Protisa Perú S.A., IPUSA en Uruguay, Absormex CMPC Tissue S.A. en México, Protisa Colombia S.A., Drypers Andina S.A. también en Colombia y Protisa Ecuador S.A. Esta línea de negocios cuenta con operaciones establecidas hace más de dos décadas en Chile, Perú, Argentina y Uruguay, destacando sus altas tasas de participación de mercado. En Chile, por ejemplo, de acuerdo a información proporcionada por la Compañía, la tasa de participación bordea el 75%, con marcas fuertemente establecidas, tales como Confort, Nova, Elite y Noble, entre muchas otras. En México, Colombia, Ecuador y Brasil, las tasas de participación son menores, existiendo en dichos países un favorable potencial de crecimiento, lo que involucra esfuerzos de marketing y distribución. Lo anterior se debe a que la Compañía ingresó a dichos mercados hace menos de una década.

III. El Futuro

En los últimos años, el sector de la celulosa y papel en términos de niveles, ha mantenido tasas de crecimiento bajas. En el primer trimestre de este año, la producción industrial cayó 4,7% anual luego de que en el 2014 este sector mostrara un aumento de solo 0,5% en relación al 2013. Las exportaciones en cantidad no han tenido una evolución muy diferente a la producción, pues la mayor parte de la producción de celulosa es exportada.

Entre los factores estructurales que han afectado al sector, se encuentran los cambios progresivos en los diferentes medios de comunicación y publicidad, que ha ido prescindiendo del papel o la cartulina para concentrarse en buena medida, en el uso de medios electrónicos. Esto ha tenido impactos considerables en la demanda por papel, arrastrando con ello la demanda por celulosa. En el ámbito interno, además existen restricciones de oferta que impiden en el corto plazo un aumento sustancial de la producción.

Por otra parte, factores coyunturales también han resentido el desempeño de este sector, en particular la desaceleración de China principal productor de papel y, por lo tanto, principal demandante de celulosa chilena. Los precios de la celulosa no han estado al margen de la corrección global de commodities, aunque el ajuste en su caso ha sido más moderado. Sin embargo esperamos correcciones adicionales en los precios de la celulosa debido a una eventual sobre oferta por la entrada en operación de grandes proyectos en Brasil y Uruguay. En términos de valor agregado, el sector aún mantiene una participación relevante en el PIB. Aunque ha bajado en términos relativos; actualmente su participación alcanza el 1,2% del PIB considerando celulosa, papel y cartón.

El cambio climático es una modificación del clima que altera la composición de la atmósfera y que en la actualidad ha significado el calentamiento del aire y el océano, el derretimiento de hielos y nieve y la elevación del nivel medio del mar.

Esta alteración se debe a un incremento de la concentración principalmente de dióxido de carbono (CO_2) y secundariamente de metano y óxido nitroso en la atmósfera, generando un efecto de invernadero que aumenta la temperatura atmosférica. El aumento global de la concentración de dióxido de carbono se debe fundamentalmente al uso de combustibles fósiles no renovables (petróleo, carbón y gas natural) y a la producción de animales domésticos, bovinos principalmente.

Cambio del uso del suelo.

En este contexto, los bosques juegan un importante rol en el combate del cambio climático ya que: (2)

- Son el principal purificador del aire del planeta al capturar CO_2 y liberar oxígeno, mediante el proceso de fotosíntesis.
- Producen dendrocombustible (biomasa) como una alternativa más benigna que los combustibles fósiles, pues la cantidad de CO_2 emitida tras su combustión, se anula al considerar la cantidad de CO_2 que los árboles absorben durante su crecimiento.

En cuanto a la cantidad de CO_2 capturado por las plantaciones de Pino y Eucaliptus, la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, ODEPA, realizó en 2007 una estimación del carbono capturado por los bosques plantados hasta 2005, en el marco del Decreto Ley 701 (3). CORMA actualizó los datos de superficie de dichas plantaciones, estimando que el carbono capturado según especie es la siguiente:

Carbono equivalente capturado por las plantaciones forestales según especie (a diciembre 2014)

Especie	Toneladas CO ₂
Pino radiata	178.164.800
Eucayptus globulus	28.100.000
Eucalyptus nitens	45.324.300
Total	251.589.100

IV. Nuevas Perspectivas

La economía mundial inició el presente año con moderados recortes a las expectativas de crecimiento que se tuvieron hacia fines de 2014 y una reciente incertidumbre respecto a la evolución del precio del petróleo y de su oferta en el largo plazo. Según las proyecciones del Fondo Monetario Internacional (FMI) la economía mundial crecerá 3,5% en 2015 y 3,7% en 2016, cifras levemente inferiores a las publicadas en octubre pasado. Entre las principales razones para las menores expectativas de crecimiento, especialmente en las grandes economías, con la excepción de EE.UU. que ha tenido una mayor recuperación de acuerdo a lo previsto, están: la menor demanda interna en algunas economías desarrolladas, la apreciación del dólar y el aumento de las tasas de interés en economías con mercados emergentes.

Las expectativas de crecimiento del FMI para las economías avanzadas es de solo 2,4% para los años 2015 y 2016. Destacan en este grupo EE.UU. con un 3,6% para 2015 y 3,3% para 2016 y el Reino Unido con 2,7% y 2,4%, respectivamente. Como contraparte, las proyecciones para Japón son de solo 0,6% y 0,8%, debido fundamentalmente a su pobre desempeño en 2014 que lo tiene en recesión desde el tercer trimestre de ese año. Adicionalmente, la zona euro tuvo su más lento crecimiento durante el 2014, viéndose mermadas sus expectativas de crecimiento especialmente por los dispares desempeños mostrados por los países miembros y los bajos niveles de inversión y de inflación que no permiten anticipar una recuperación más acelerada.

En el caso de Chile, el efecto de la caída del precio del petróleo se ha moderado con la depreciación del peso frente al dólar, un fenómeno no ajeno a lo que ocurre con otras monedas. Mientras el precio del barril cayó desde un pico de US\$105,2 en junio de 2014 a US\$47,3 en enero de este año, el peso se depreció un 12,3% en el mismo periodo. Por ello, el precio del barril en pesos muestra una caída nominal de 49,5%. Si las expectativas sobre el tipo de cambio son correctas y se mantiene efectivamente estable hasta fin de año, entonces el precio del barril en pesos estará dependiendo sólo de las fluctuaciones en los mercados interna-

cionales. Al igual que en el caso internacional, de persistir los precios bajos se podría ver efectos de mayor cuantía sólo en el largo plazo, una vez que las empresas internalicen en sus decisiones con este nuevo escenario.

Durante el 2014 la economía chilena tuvo una drástica caída en sus tasas de crecimiento, desde 4,2% en 2013 a 1,9%. Además, la depreciación del peso frente al dólar y algunos eventos meteorológicos adversos, presionaron al alza de los precios, entre otros, de los alimentos. A raíz de esto la inflación estuvo por sobre el rango de política monetaria, alcanzando un 4,6% anual (acumulada durante los 12 meses). Sin embargo, pese a la menor actividad, la menor demanda interna y los incrementos en la fuerza de trabajo, las tasas de desempleo se mantuvieron relativamente estables durante el año.

En este contexto, las exportaciones forestales chilenas marcaron un pico histórico en 2014 con US\$6.094,3 millones, siendo los tableros contrachapados y la madera aserrada, entre los principales productos, los de mayor incremento en el valor exportado. Tal como se mencionó antes, la recuperación más acelerada de EE.UU. podría traer también buenas noticias para las exportaciones forestales durante este año. Por otra parte, la evolución de los precios de exportación (FOB) de pulpa, principal producto exportado, no ha sido del todo positiva. La pulpa blanqueada de pino radiata tuvo un pico en abril de 2014 de US\$702,9/ton, pero a febrero de este año acumula una caída de un 7,3%, llegando a US\$651,9/ton. Asimismo, los precios de pulpa blanqueada de eucalipto han caído de un pico de US\$584,9/ton en enero de 2014 a US\$536,6/ton en febrero último, acumulando una baja de 8,3%.

Referencias

www.arauco.cl

www.empresascmpc.cl

www.infor.cl

XIX

PANORAMA DE LA INDUSTRIA PAPELERA EN COLOMBIA

Germán Quintana¹, Jorge Velásquez¹

1. Sector forestal

Colombia es un país que está ubicado en la parte noroccidental del continente Suramericano. Debido a su posición geográfica posee fronteras con Centro América y varios de los países suramericanos, limita al occidente con Panamá, al oriente con Venezuela y Brasil y en al sur limita con Ecuador y Perú. La superficie continental de Colombia es de 1.141.748 km².

Colombia, al ser un país ubicado en el trópico, cuenta con diversidad de pisos térmicos, en especialmente debido a que en el sur del país la cordillera de los andes se divide en tres haciendo que se cuenten con alturas sobre el nivel del mar, que van desde los 0 hasta 4.000 metros sobre el nivel del mar [1]. Colombia está ubicado sobre la zona de convergencia intertropical, lugar donde los vientos cálidos y húmedos de las latitudes del norte y sur, chocan formando un cinturón de nubes ocasionando un alto régimen de lluvias, es el tercer país latinoamericano con mayores tasas de precipitación anuales y el décimo a nivel mundial [1].

Gracias a la existencia de diferentes pisos térmicos con áreas disponibles para la creación de plantaciones forestales, se pueden establecer una gran variedad de especies debido a las ventajas en clima, calidad de suelos, valor de la tierra y costo de la mano de obra; los cultivos de especies aptas tardan la mitad del tiempo de lo que tardarían en otros países para crecer y ser productivas [2].

En el país hay 12 especies de árboles que han sido usados prioritariamente en los programas de reforestación industrial, las cuales son: teca (*Tectona grandis*), melina (*Gmelina arborea*), acacia mangium (*Acacia mangium*), eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*), eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*), ceiba

1. Grupo Pulpa y Papel; Facultad de Ingeniería Química; Universidad Pontificia Bolivariana; sede Medellín; Circular 1 No. 70 – 01, Medellín, Colombia.

(*Bombacopsis quinata*), roble (*Tabebuia rosea*), nogal (*Cordia alliodora*), ciprés (*Cupressus lusitánica*), pino caribe (*Pinus caribea*), pino pátula (*Pinus patula*), pino tecunumanii (*Pinus tecunumanii*) y pino oocarpa (*Pinus oocarpa*) [3]. La tabla 1 presenta los rendimientos de algunas de las especies forestales cultivadas en Colombia.

El sector forestal representa el 0,2% del PIB de Colombia y genera en promedio 74.000 empleos [4]. De acuerdo con los resultados obtenidos por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, de las 114,1 millones de hectáreas (has) que constituyen el territorio continental colombiano, existen 24,8 millones de has aptas para el establecimiento de plantaciones comerciales, lo cual equivale al 21,8% del país, aunque la gran mayoría de estas tierras (17,5 millones de has) están ubicadas en zonas de media o baja aptitud, lo cual quiere decir que están condicionadas o tienen limitaciones de tipo físico, social, legal o económico, y por ello son consideradas como zonas viables; sin embargo, requieren esfuerzos adicionales para el desarrollo de este negocio [5], [6].

Tabla 1. Rendimientos por especies en Colombia

Nombre científico	Nombre común	Rendimiento (m ³ /ha/año)
<i>Eucalytus grandis</i>	Eucalipto	25 – 40
<i>Acacia magnium</i>	Acacia	26 – 30
<i>Bombacopsis quinata</i>	Ceiba tolua	< 18
<i>Cordia aliadora</i>	Nogal cafetero	8 – 20
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto	15 – 35
<i>Gmelina arbórea</i>	Gmelina	20 – 25
<i>Eucalyptus pellita</i>	Eucalipto	15 – 20
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	Eucalipto	20
<i>Tectona grandis</i>	Teca	7 -10
<i>Cariniana pyriformis</i>	Abarco	7

Las principales zonas con plantaciones forestales se ubican en la Costa Atlántica (Córdoba y Magdalena Bajo), Región Andina (Antioquia, Cauca) y Orinoquía. El departamento con mayor área plantada es Antioquia; allí se encuentran también varias empresas de transformación por lo que en principio puede considerarse que este departamento conforma un clúster [3]. Entre los cultivos forestales solo los pertenecientes a la empresa Smurfit Kappa Colombia tienen una destinación hacia la industria de la pulpa, papel y cartón; utilizando como fuente de fibra larga el *Pinus patula*, *Pinus tecunumanii*, *Pinus oocarpa*, *kesiya* y *Pinus maximinoi*, para fuente de fibra se utiliza el *Eucalytus grandis* [7].

Entre 1995 y 2014 se han reforestado un total de 487.702 ha, con una de reforestación para el año 2020 en cerca de un millón de áreas sembradas, para esto el gobierno nacional cuenta con algunos incentivos tributarios entre los que están la exención en la renta para plantaciones forestales que cubre las plantaciones establecidas a partir de 2003 [1] y el Certificado de Incentivo Forestal (CIF) que es incentivo monetario que reconoce hasta un 50% de la inversión realizada en el establecimiento y los costos de mantenimiento, hasta el quinto año de cultivo [1].

El ranking de empresas de 2014 muestra que las empresas del Grupo Cotopaxi es la empresa de mayor volumen en ventas seguida de las empresas del grupo Tablemac, las empresas del grupo Pizano, Arauco Colombia, Masisa Colombia, el Grupo Núcleos, Refocosta, y Reforestadora Andina [8].

2. Industria de la pulpa, papel y cartón

La industria papelera colombiana hace parte de la cadena de pulpa, papel y artes gráficas. Las empresas que conforman esta cadena, concentran su producción en tres departamentos de la región andina: Valle del Cauca, Cundinamarca y Antioquia. Estos departamentos generan el 34%, 27% y 17% respectivamente, del total de la producción de la cadena. La cadena contribuyó, en el año 2005, con 7,3% de la producción total del país y con el 6.4% del empleo total [5], mientras que para el año 2013 el sector alcanzó a impactar el PIB nacional en un 5,7% con activos por \$8,6 billones de pesos colombianos lo que implica una ligera disminución del impacto de la cadena en Colombia durante la última década [9]. El año pasado la producción nacional fue de 1,2 millones de toneladas de papel, o sea 3% más que en 2013 [9].

Figura 1. Mapa de Colombia con las principales regiones productoras.



Los productos de papel que más se consumen en el país, son los empaques, como cajas de cartón o cajas plegadizas, y los que se destinan para la producción de papeles para imprenta y escritura, como libros, cuadernos y hojas [10, 11]. Tabla 1 muestra un listado de algunas de las principales empresas del sector de la pulpa, papel y cartón en Colombia en donde se muestra que la mayoría de las empresas se encuentran ubicadas en el área andina y concentradas en unos pocos departamentos. El Valle del Cauca es el mayor productor de papel del país con una producción de cerca del 90% de la producción de papeles y cartones para imprenta y escritura, además de producir el 70% de los papeles para empaques. Al igual que la producción, las exportaciones se encuentran concentradas en Valle del Cauca, Cundinamarca, Antioquia y Bogotá que aportan 43%, 26,5%, 12,5% y 9,6% respectivamente al valor total exportado. Valle se especializa en la exportación de papeles, mientras que Cundinamarca y Bogotá en productos de impresión y editoriales [5].

Tabla 2. Algunas empresas de sector de la pulpa, papel y cartón en Colombia

Empresa	Ciudad	Departamento	Actividad
Industria Papelera Indugevi S.A.	Sabaneta	Antioquia	Papel liner y corrugado a partir de papel reciclado, producción de cajas de cartón corrugado
Productos Familia S.A. (Grupo Familia)	Medellín	Antioquia	Papeles suaves mediante destintado de papel
Papeles y Cartones S.A. (Smurfit Kappa Colombia)	Barbosa	Antioquia	Papel liner y corrugado a partir de papel reciclado, producción de cajas de cartón corrugado
Recuperadora Rexas S.A.S.	Rionegro	Antioquia	Producción de pulpa moldeada
Cartonal S.A.S.	Bogotá	Bogotá	Fabricantes de cartón prensado elaborado a partir de fibras recicladas
Papeles y Corrugados Andina S.A.	Bogotá	Bogotá	Papel liner y corrugado a partir de papel reciclado, producción de cajas de cartón corrugado
Continental Paper S A	Bogotá	Bogotá	Papel liner y corrugado a partir de papel reciclado, producción de cajas de cartón corrugado
Latinoamericana de Corrugados y Empaques S.A.	Bogotá	Bogotá	Producción de cajas de cartón corrugado
Papelera Andina S.A.S.	Bogotá	Bogotá	Papeles suaves mediante destintado de papel
Corrugados Papel U.M. Ltda.	Bogotá	Bogotá	Producción de papeles microcorrugados
Sappi de Colombia S.A.S.	Bogotá	Bogotá	Comercialización de papeles
Carvajal Pulpa y Papel S.A.S. Zona Franca Permanente Especial (Organización Carvajal)	Guachene	Cauca	Pulpa y papel a partir de bagazo de caña de azúcar mediante pulpeo a la sosa

Empresa	Ciudad	Departamento	Actividad
Cartonera Nacional S.A.	Villa Rica	Cauca	Producción de cajas de cartón corrugado
Papeles Nacionales S.A.	Pereira	Risaralda	Papeles suaves mediante destintado de papel
Microempaques S.A.S.	Palmira	Valle del Cauca	Producción de cajas de cartón microcorrugado
Carvajal Pulpa Y Papel S.A. (Organización Carvajal)	Yumbo	Valle del Cauca	Pulpa y papel a partir de bagazo de caña de azúcar mediante pulpeo a la sosa
Kartonar S.A.S.	Barbosa	Antioquia	Producción de cajas de cartón corrugado
Productora de Papel y Cajas de Cartón S.A.	Guarne	Antioquia	Fabrica cajas y láminas de cartón corrugado
Divicajas S.A.S.	Medellín	Antioquia	Producción de cajas de cartón corrugado
Occidental de Empaques S A	Girardota	Antioquia	Producción de sacos de papel.
Empaques y Cartones S.A.S.	Bogotá	Bogotá	Producción de sacos de papel
Corrupack S.A.S.	Bogotá	Bogotá	Producción de cajas de cartón corrugado
Empaques Verdes S.A.S.	Bogotá	Bogotá	Producción de cajas de cartón corrugado y sacos de papel
Empaques Nacionales Ltda.	Bogotá	Bogotá	Producción de cajas de cartón corrugado
Cartones América S.A. (Litofán)	Santiago de Cali	Valle del Cauca	Papel liner y corrugado a partir de papel reciclado, producción de cajas de cartón corrugado
C.I. ARclad S.A.	Rionegro	Antioquia	Producción de papeles esmaltados, siliconados y metalizados
Avery Dennison Colombia S.A.	Envigado	Antioquia	Producción de papeles esmaltados, siliconados y plastificados.

Empresa	Ciudad	Departamento	Actividad
Compañía Colombiana de Empaques Bates S.A.	Palmira	Valle del Cauca	Producción de sacos, fundas y bolsas a base de papel
Fábrica de Bolsas de Papel Unibol S.A.	Barranquilla	Atlántico	Papel liner y corrugado a partir de papel reciclado, producción de cajas de cartón corrugado. Papeles suaves por destintado de papel.
Colombiana de Moldeados S.A.	Buga	Valle del Cauca	Producción de pulpa moldeada.
Papeles del Cauca S.A. (Kimberly-Clark Colombia)	Puerto Tejada	Cauca	Especializada en la producción de pañales desechables
Colombiana Kimberly Colpapel (Kimberly-Clark Colombia)	Tocancipá	Cundinamarca	Especializada en la producción de pañales desechables
Drypers Andina S.A. (Empresas CMPC S.A.)	Santander de Quilichao	Cauca	Papeles suaves por destintado de papel y producción de pulpa moldeada
Familia Del Pacifico S.A.S. (Grupo Familia)	Guachene	Cauca	Especializada en la producción de pañales desechables
Protisa Colombia S.A. (Empresas CMPC S.A.)	Gachancipá	Cundinamarca	Papeles suaves mediante destintado de papel
Pulpack Ltda.	Tocancipá	Cundinamarca	Papeles suaves por destintado de papel y producción de pulpa moldeada
Colombiana Kimberly S.A. (Kimberly-Clark Colombia)	Barbosa	Antioquia	Papeles suaves mediante destintado de papel
Smurfit Kappa Cartón de Colombia (Smurfit Kappa Colombia)	Yumbo	Valle del Cauca	Pulpa y papel kraft a partir de madera de eucalipto y pino
Smurfit Kappa Barranquilla (Smurfit Kappa Colombia)	Barranquilla	Atlántico	Papel liner y corrugado a partir de papel reciclado, producción de cajas de cartón corrugado

Empresa	Ciudad	Departamento	Actividad
Cartones América S.A. (Corame)	Bogotá	Bogotá	Producción de cajas de cartón corrugado
Papeles y Cartones del Risaralda S.A.	Dosquebradas	Risaralda	Papeles suaves mediante destintado de papel
Papeles Regionales S.A.	Dosquebradas	Risaralda	Papel liner y bolsas de papel a partir de papel reciclado

En Colombia, en 2013 se consumieron 1 millón 541 mil toneladas de papel, mientras que en 2014 la cifra fue de 1 millón 597 mil toneladas, lo que representa un incremento del 3,7% [11]. La Tabla 3 muestra la producción de pulpa, papel y cartón en Colombia en los últimos 6 años, en Colombia solo se producen pulpas químicas, estando la capacidad de producción de las plantas cerca de su máximo de producción. La totalidad de la pulpa de madera blanqueada que se produce en el país es TCF. Está en proyecto el blanqueo de pulpa de bagazo de caña con proceso ECF [10].

En Colombia, las fibras más usadas para la producción de papeles y cartones son el papel reciclado (51%), la pulpa de madera (33%) y la pulpa de bagazo de caña de azúcar (16%). Linters de algodón se utiliza en cantidades inferiores al 0,5% del total de fibras. La madera utilizada por la industria proviene en su totalidad de bosques cultivados, estando la sostenibilidad de las plantaciones de la industria certificada por el Forest Stewardship Council (FSC) [5].

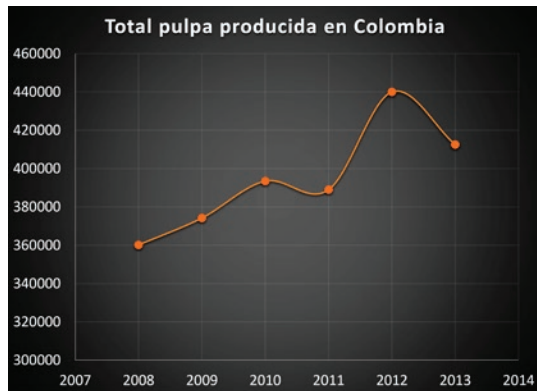
Tabla 3. Cantidad producida de pulpa y papel en Colombia (toneladas)

Ítem	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Tipo de pulpa						
Pulpa química de madera	147000	174000	200221	203500	220000	202759
Otras pulpas químicas	174000	167200	160207	159689	183000	178046
Pulpa semiquímica de madera	39143	33000	33053	25824	37000	31729
Papel y cartones, sin incluir papeles suaves						
Otros papeles y cartones	716000	774000	826700	817865	827000	846775
Papeles para impresión y escritura	309000	302000	318300	319710	326000	318657

Fuente: FAO - Forestat

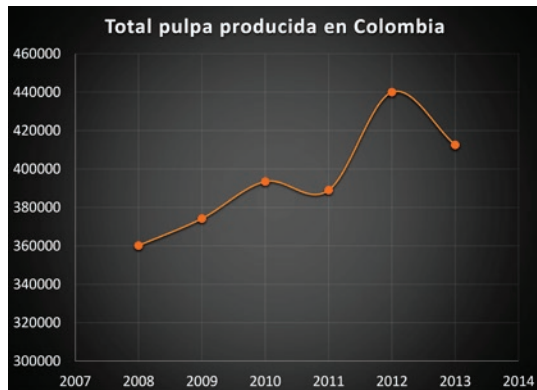
Durante este periodo de tiempo, a partir de los valores reportados por la FAO, la producción total de pulpa química creció cerca de un 14% impulsada principalmente con el crecimiento de la pulpa química de madera que presentó un incremento de aproximadamente 37% con solo un incremento de un 2% de las otras pulpas químicas, que en Colombia corresponden a pulpas obtenidas del pulpeo a la sosa del bagazo de caña de azúcar.

Figura 2. Crecimiento de la producción de pulpa química y semiquímica en Colombia (2007-2013)



Para el caso de la producción de papeles y cartones se observa también un crecimiento, según lo reportado por la FAO. Para el periodo de tiempo observado se presentó un crecimiento en la producción de papeles y cartones, sin incluir papeles suaves, de cerca de 17% (Figura 3).

Figura 3. Crecimiento de la producción de papeles y cartones, sin incluir papeles suaves, en Colombia (2007-2013).



En 2014 las principales empresas del sector papelerero, según ventas, fueron Productos Familia y sus filiales seguido por Kimberly Clark Colombia y sus filiales, luego se encuentran las empresas de Smurfit Kappa Colombia y la Organización Carvajal. Posteriormente se sitúan Papeles Nacionales, y las empresas CMPC, Cartones América, y Arclad [12].

La diferencia entre exportaciones e importaciones muestra que Colombia es un importador nato de los productos de la cadena papelerera. En el año 2014 la diferencia en dólares entre las exportaciones e importaciones es de -391'460.000 dólares. Colombia es importador de diferentes clases de pulpas para la producción de periódicos, siendo una de las principales importaciones, productos adsorbentes y pulpa Kraft para la producción de papeles de escritura, ver Tabla 4 y 5. El 50% de los valores de las importaciones en el año 2014 corresponden a papeles y cartones para imprenta y escritura y a pulpa para papel y cartón.

Tabla 4. Cantidad de importaciones de pulpa y papel en Colombia (toneladas)

Ítem	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Tipo de pulpa						
Pulpa química de madera	163000	125237	164518	147939	163068	163068
Pulpa mecánica de madera	100*	58	75	80	248	248*
Otras pulpas químicas	1300	1800	1244	1669	2408	2408*
Pulpa semiquímica de madera	14624*	14624*	47	333	556	556*
Papel y cartones						
Papel periódico	94700	76759	93209	95540	87587	87587*
Otros papeles y cartones	281800	270371	194123	303127	261567	261567
Papeles para impresión y escritura	148800	117697	129543	104602	109678	109678

Fuente: FAO - Forestat

Tabla 5. Valor de las importaciones (miles de dólares CIF) (2008- 2014)

Nombre eslabón	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Otros papeles y cartones especializados	128.256	120.167	138.600	152.952	155.183	153.663	162.338
Papel para uso doméstico o industrial	1.286	1.057	2.389	3.967	3.916	3.735	4.206
Papeles para empaques (bolsas, sacos y cajas)	124.070	91.678	115.322	135.948	123.537	135.285	131.262
Papeles para empaques y envolturas de uso industrial	561	77	116	148	210	189	153
Papeles suaves higiénicos (tissue)	27.792	23.103	38.137	29.204	39.005	8.572	12.406
Papeles y cartones para imprenta y escritura	242.342	175.709	196.977	212.861	217.312	211.247	216.691
Preprensa y edición	5.323	3.120	3.404	3.783	4.714	3.429	3.110
Productos de empaque de cartón y cartulina	19.611	13.805	17.007	21.798	26.016	32.064	32.569
Pulpa para papel y cartón	128.687	77.424	140.163	128.021	123.405	119.853	129.412
Total Cadena	677.928	506.140	652.114	688.683	693.297	668.036	692.147

Fuente: Departamento Nacional de Planeación

Las exportaciones de papeles suaves higiénicos (tissue) y papeles y cartones para imprenta y escritura representan un 52% de las ventas al exterior.

Tabla 6. Cantidad de exportaciones de pulpa y papel en Colombia (toneladas)

Ítem	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Tipo de pulpa						
Pulpa química de madera	57	103	644	417	360	360
Otras pulpas químicas	541	3	39	39	39	39
Papel y cartones						
Papel periódico	649	277	48	2084	2084	2084
Otros papeles y cartones	96000	93957	60993	91815	74682	74682
Papeles para impresión y escritura	103082	73304	124533	80472	88567	88567

Fuente: FAO – Forestat

Tabla 7. Valor de las exportaciones (miles de dólares FOB) (2008- 2014)

Nombre eslabón	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Otros papeles y cartones especializados	40.935	37.670	40.319	48.290	50.168	40.260	45.703
Papel para uso doméstico o industrial	8.138	9.257	9.506	10.497	9.774	16.457	15.222
Papeles para empaques (bolsas, sacos y cajas)	62.001	59.935	56.088	58.696	57.520	53.915	50.137
Papeles para empaques y envolturas de uso industrial	0	33	61	550	638	190	86
Papeles suaves higiénicos (tissue)	63.237	71.310	70.038	85.961	100.486	91.811	77.656
Papeles y cartones para imprenta y escritura	124.005	105.697	99.275	92.322	104.153	100.252	79.086
Preprensa y edición	360	362	198	131	77	154	87
Productos de empaque de cartón y cartulina	58.272	44.956	29.670	37.254	43.227	41.228	31.404
Pulpa para papel y cartón	n.d	77	561	862	353	327	1.306
Total Cadena	356.948	329.298	305.716	334.564	366.396	344.596	300.687

Fuente: Departamento Nacional de Planeación

El mercado Colombiano de papeles suaves está conformado por papel higiénico, servilletas, toallas de cocina; y pañuelos faciales y manos. Las ventas de este sector fueron de \$12 billones de pesos en el año 2013. Actualmente, los papeles suaves o tisú tienen un mercado superior a \$1 billón al año, según la Encuesta Anual Manufacturera del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

En el país se recuperó el 49 % del papel que se produjo y la inversión total de la Cadena del Papel en programas de impacto ambiental fue de \$13 mil millones en 2013. La Tabla 8 muestra como se compone el mercado de papeles suaves en Colombia en donde las empresas del grupo Productos Familia ocupan un lugar privilegiado del mercado con una gran diferencia respecto a el porcentaje del mercado ocupado por el segundo en ventas.

Tabla 8. Empresas de papeles suaves y su participación en el mercado

Empresa	%
Productos Familia S.A.	43
Kimberly Clark Colombia S.A.	17
Papeles Nacionales S.A.	19
Papeles y Cartones del Risaralda S.A.	3
Drypers Andina S.A.	6

Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia

3. Agremiaciones industriales, técnicas y grupos de investigación

3.1 Asociación Colombiana de Técnicos de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón (ACOTEPAC)



acotepac@etp.net.co

Es una entidad sin ánimo de lucro, con personería jurídica No. 35475 reconocida por la Gobernación de Antioquia el 2 de octubre de 1987 y con Cámara de Comercio de la ciudad de Pereira, cuyos objetivos principales son los de incrementar la aplicación de la ciencia, la ingeniería y nuevas tecnologías en la industria de la pulpa, papel y cartón en Colombia y el área Andina. Así mismo está integrada en la defensa del papel, recurso renovable y sostenible con los organismos del estado

Colombiano y organizaciones industriales. Desempeña además un papel formativo para las nuevas generaciones de Ingenieros y técnicos del sector de P&P.

La creación de la Asociación surgió como respuesta a dos situaciones: Por un lado el gran crecimiento de la capacidad productiva del sector y por otro lado la muy limitada participación académica de nuestras Universidades en el campo de la tecnología papelera, ambas situaciones exigían una preparación adecuada para hacer frente a lo que se convertiría en un doble reto y había que estar preparado para enfrentar exitosamente el futuro.

ACOTEPAC fue el epílogo del esfuerzo de un grupo de ingenieros, de la industria papelera colombiana entre los que se encontraban los ingenieros Franklin González, Juan Guillermo Gallón, Hernán Ortiz, Orlando Aristizábal, Gustavo Atehortúa, Reinaldo Bustamante, Jorge Olivos H. Jorge Alonso Villegas, Jorge Torres, Jimmy Levi, Gilma Gloria Arenas, Carlos Omar Briceño, Giorgio Garlatti, Gabriele Garlatti, Jaime Ramírez Paz, José Raúl Londoño, Luis Carlos Restrepo, Peter Hjerthen, Pedro Franco, Oscar E. Posada, Iván Mondragón, entre otros, quienes supieron interpretar el deseo y la necesidad del sector técnico papelerero de integrarse en un conjunto armónico, que sirviera como foro y polo de desarrollo de sus miembros.

ACOTEPAC tiene como socias las empresas productoras de pulpa, papel y cartón; empresas proveedoras de materias primas y servicios, lo mismo que Universidades. La Sede de la Asociación es en Pereira.

Cumpliendo con nuestra misión corporativa “Promover el intercambio de conocimientos, el desarrollo tecnológico, la innovación y la sostenibilidad de la industria papelera”, desarrollamos actividades de formación y actualización en pulpa y papel, para la industria papelera nacional e internacional como:

- Congreso Internacional & Expoacotepac realizado consecutivamente hace 23 años. El congreso tiene dos espacios, uno académico con presentaciones de conferencistas nacionales y extranjeros sobre nuevos desarrollos en la industria papelera y el otro es la exhibición de nuevos equipos y productos para la industria papelera en EXPOACOTEPAC. Participa un nutrido número de papeleros colombianos y del exterior.
- Seminarios Internacionales sobre tecnología de fabricación de pulpa y papel con asistencia de ingenieros, técnicos y operadores de plantas papeleras colombianas y de varios países de centro y Suramérica. Para estos seminarios se cuenta con conferencistas con más de 20 años de experiencia en la industria de pulpa, papel y cartón, en su mayoría ingenieros y técnicos de empresas papeleras activos y jubilados de las empresas fabricantes y proveedores del sector.

- Cursos y Jornadas de Mantenimiento y charlas técnicas especialmente de proveedores de tecnología de pulpa y papel.
- Programación de cursos de operaciones y de solución de problemas de máquinas papeleras, tratamiento de efluentes etc. dentro de las plantas papeleras del país y en el exterior.
- Asesoría a empresas en Ingeniería sobre tecnología de fibras celulósicas, fabricación de pulpa, ahorro de energía en procesos, mantenimiento y otros más.

Junta Directiva Acotepac 2014 -2015:

- Leonel Humberto Mondragón Benitez- *Presidente*
- Antonio Romero Ramírez
- Nelson Hernando Quiñones Hurtado
- Edgar Mora B.
- Patricio Gómez Rivera
- Gabriel Jaime Landazábal
- Hernando Naranjo Solarte
- Augusto González Guevara
- Jose Ramiro Ospina Arroyave
- Néstor Raúl Albán Perlaza
- René Hurtado Minotta
- Isabel Cristina Cardona – *Directora Ejecutiva*

3.2 Grupo Pulpa y Papel de la Universidad Pontificia Bolivariana – sede Medellín.

La Escuela de Química Industrial abrió sus puertas en 1938, en el prospecto aparecido ese mismo año, se justificaba así la nueva carrera de estudios: “Hemos pensado que nuestro deber es orientar hacia actividades prácticas y acordes con las tendencias de los tiempos. El país necesita producir riqueza; ya que las naturales fácilmente se agotan; a llenar esta necesidad está llamada la Escuela de Química Industrial, en donde se formarán especialistas e Ingenieros Industriales”. Desde entonces, la que hoy está convertida en Facultad de Ingeniería Química de la UPB ha servido de soporte, con el concurso, conocimiento y preparación de sus docentes y egresados, al desarrollo industrial del país y junto con ellos sigue prestando su colaboración al progreso de la industria nacional y al bienestar de la sociedad colombiana.

En el año de 1994, por iniciativa de ACOTEPAC (Asociación Colombiana de Técnicos del Papel, la Pulpa y el Cartón), con participación de la industria del sector y la UPB, se crea CENPAPEL (Corporación Centro de Capacitación y Desarrollo Tecnológico para la Industria Papelera). La Universidad Pontificia Bolivariana se involucró como institución que respalda la labor académica e investigativa del Centro. Con este propósito nace en la Facultad el Grupo Pulpa y Papel, que inicia sus labores en agosto de 1997, bajo la dirección del PhD Jorge Velásquez.

Como socio fundador, la Universidad Pontificia Bolivariana es miembro de la Asamblea General de Socios, pero además, por derecho propio, es miembro permanente del Consejo Directivo del Centro. La Universidad Pontificia Bolivariana, a través del Grupo Pulpa y Papel, respalda al Centro mediante recursos académicos, de acuerdo a la exigencia legal de que todo centro de investigación cuente con mínimo una institución universitaria adscrita.

El Grupo Pulpa y Papel de la Universidad Pontificia Bolivariana es autónomo de Cenpapel, proponiendo y desarrollando sus propios proyectos. El grupo, reconocido por Colciencias desde el 2000, se encuentra clasificado en categoría A desde el año 2006. Se han desarrollado exitosos trabajos en cuatro líneas de investigación, con apoyo del CIDI (Centro integrado para el desarrollo de la investigación de a UPB), Colciencias y diversas empresas.

Integrantes

Ph.D. Jorge Alberto Velásquez Jiménez (Director)

Ph.D. Jorge Hernán Sánchez Toro

Ph.D. Juan David Martínez Arboleda

Ph.D. Diana Marcela Vanegas Hernández

Ph.D. Hader Humberto Alzate

Ph.D. Luis Alejandro Forero

Ph.D. Germán Camilo Quintana Marín

Líneas de investigación

El grupo ha definido cuatro líneas de investigación, que considera de relevancia en el desarrollo de la industria de pulpa y papel en la actualidad.

Aprovechamiento de materiales lignocelulósicos. El objetivo principal de la línea es aprovechar los subproductos y desechos del proceso de pulpeo y formación de papel (lodos, licores negros, entre otros), y dar uso industrial a materiales y desechos lignocelulósicos (papel desperdicio, desechos agroindustriales, entre otros). Las actividades de la línea se han centrado en las siguientes temáticas:

- Aprovechamiento de licores negros del pulpeo a la sosa y Kraft.
- Obtención de adsorbentes a partir de lignina.
- Aprovechamiento de lodos de las empresas de pulpa y papel.
- Destintado neutro y enzimático de papel desperdicio.
- Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos en la producción de tableros de fibras.
- Obtención de pulpas a partir de desechos agroindustriales.

Biotechnología en la industria papelera. Aplicar procesos biotecnológicos para el desarrollo y mejoramiento de la industria papelera. Las actividades de la línea se han centrado en las siguientes temáticas:

- Deslignificación enzimática de la pulpa de bagazo de caña.
- Producción y evaluación de Xilanasas.

Química del Papel. En ella se desarrollan y/o aplican nuevos aditivos para la producción de papel y similares. Las actividades de la línea se han centrado en las siguientes temáticas:

- Modificación química de superficies celulósicas con zwitteriones.
- Incorporación de β -ciclodextrina en celulosa regenerada.
- Producción de almidón zwitteriónico.

Simulación de procesos industriales. En esta línea se elaboran modelos de procesos químicos y se determinan propiedades termodinámicas mediante modelos matemáticos y se resuelven sistemas de ecuaciones mediante métodos numéricos. Las actividades de la línea se han centrado en las siguientes temáticas:

- Simulación en estado estacionario de diferentes operaciones unitarias mediante el empleo de MS Excel.
- Desarrollo de software para el cálculos de propiedades termodinámicas de mezclas mediante ecuaciones de estado y métodos de actividad.
- Solución de sistemas de ecuaciones mediante métodos homotópicos de continuidad.

Participación en programas de posgrado y capacitación

El Grupo Pulpa y Papel participa del Doctorado en Ingeniería: área de nuevos materiales, dando asesoría a proyectos de investigación y cursos electivos en la línea de biomateriales. Dentro de los cursos ofrecidos están:

- Química de los materiales fibrosos.
- Obtención pulpas químicas para papel.
- Química física macromolecular.
- Fisicoquímica de superficies
- Química del papel.

Además de la participación directa en el doctorado, el Grupo Pulpa y Papel ha participado de las maestrías en Ingeniería Ambiental y Biotecnología de la UPB mediante la asesoría de tesis de maestría y cursos de diseño de experimentos.

Dentro de las actividades de capacitación se encuentra la participación en el curso de Balances de Materia y Energía de la “Especialización Tecnológica en Productos Forestales” ofrecida por Cenpapel.

Laboratorio y servicios. Además del uso y apoyo de los laboratorios de química, biotecnología y ambiental de la Escuela de Ingeniería de la UPB en los cuales se realizan análisis espectrofotométricos, absorción atómica, microscopia, pruebas mecánicas, entre otras. El Grupo Pulpa y Papel cuenta con un laboratorio propio de 36 m² dotado de mesones, agua, energía, gas, sistema de vacío, equipos de seguridad. Vidriería básica, espectrofotómetro UV, celda de flotación, reactor de *steam explosion*, reactor de polimerización, equipos de molienda y exprimido para materiales fibrosos, entre otros.

3.3 Cámara industria pulpa, papel y cartón -ANDI



<http://www.andi.com.co/cipc>

La Asociación Nacional de Empresarios de Colombia – ANDI, es una agremiación sin ánimo de lucro, que tiene como objetivo difundir y propiciar los principios políticos, económicos y sociales de un sano sistema de libre empresa. Fue fundada el 11 de septiembre de 1944 en Medellín. Está integrada por un porcentaje significativo de empresas pertenecientes a sectores como el industrial, financiero, agroindustrial, de alimentos, comercial y de servicios, entre otros. La ANDI está organizada por cámaras sectoriales que representan a las diversas áreas y sectores económicos de las empresas que conforman la asociación.

Dentro de las actuales cámaras sectoriales existentes se encuentra la Cámara industria de pulpa, papel y cartón que tiene dentro de sus funciones y objetivos, realizar un seguimiento y análisis permanente de este sector industrial además de coordinar la participación de sus miembros en las negociaciones de acuerdos comerciales. La cámara está conformada por las diez empresas productoras de celulosa para papel, papeles y cartones, que representan el 100% de la producción pulpa para papel y más del 80% de la producción de papeles y cartones.

La Cámara, en asocio con Andigraf, Andiarrios, Asomedios, Fundalec-tura y La Cámara Colombiana del Libro, lanzó exitosamente en el año 2014 el programa *Two Sides Colombia* (<http://co.twosides.info/>) con el objetivo de proporcionar información a la sociedad sobre sostenibilidad de la industria, dar a conocer las bondades del papel en sus diversas aplicaciones industriales y de comunicación y presentar los logros medio ambientales alcanzados por las industrias del sector.

Personal directivo:

- Isabel Cristina Riveros Pineda - **Directora**
- Adriana Gavilán Vallejo - **Asistente**

Bibliografía

- [1] PROCOLOMBIA, Inversión en el sector agroindustria en Colombia, Santafé de Bogotá: PROCOLOMBIA, 2013.
- [2] Espinal, Carlos; Martínez, Héctor y González, Elkin. CARACTERISTICAS Y ESTRUCTURA DEL SECTOR FORESTAL-MADERA-MUEBLES EN COLOMBIA: UNA MIRADA GLOBAL DE SU ESTRUCTURA Y DINAMICA 1991-2005. Observatorio Agrocadenas Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, 2005.
- [3] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, «COLOMBIA: Potencial de Reforestación Comercial,» Enero 2015. [En línea]. Available: <https://vuf.minagricultura.gov.co/Documents/5.%20Estadisticas%20Sector%20Forestal/Potencial%20de%20Reforestacio%CC%81n%20Comercial%20en%20Colombia.pdf>.
- [4] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, «Colombia tiene un potencial forestal de 24 millones de hectáreas para explotación comercial,» Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 10 Julio 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Colombia-tiene-un-potencial-forestal.aspx>.
- [5] AGENDA INTERNA SECTORIAL: Cadena Pulpa, Papel e Industria Gráfica. Documento de trabajo. Bogotá, 2006.
- [6] Marín Villar, Camilo. Colombia estrena zonificación forestal. En: Revista Mueble y la Madera, Edición 87, marzo 2015, p. 24 – 30.
- [7] Smurfit Kappa Cartón de Colombia (SKCC). Proyecto Forestal de Smurfit Kappa Cartón de Colombia (SKCC): Resumen del Plan de Manejo 2011, 30 p [En línea]. Disponible: <http://www.smurfitkappa.com/vHome/co/Forestal/Documents/PlandeManejoForestal.pdf>.)
- [8] Ranking 2014 líderes industria maderera de Colombia, 9 de agosto de 2015 [En línea]. Disponible: <http://lanota.com/index.php/CONFIDENCIAS/Ranking-2014-lideres-industria-maderera-de-Colombia.html> la nota.
- [9] <http://www.mercadodedinero.com.co/Consumo/7650-industria-papelera-un-punto-de-empleo-en-colombia.html>
- [10] Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón. LA INDUSTRIA PAPELERA COLOMBIANA EN 2006. ANDI. Bogotá, 2007.
- [11] Industria papelera un punto de empleo en Colombia. Mercado de Dinero, 27 de octubre de 2014. [En línea]. Disponible: <http://www.elheraldo.co/economia/la-industria-papelera-crecio-un-37-en-colombia-andi-192727>
- [12] Ranking 2014 líderes papel y cartón de Colombia, 26 de julio de 2015 [En línea]. Disponible: <http://lanota.com/index.php/CONFIDENCIAS/Ranking-2014-lideres-papel-y-carton-de-Colombia.html>.



PANORAMA DE LOS PAÍSES MIEMBROS DE LA RIADICYP-ESPAÑA

J. Carlos Villar, José M^a Carbajo.

Laboratorios de Celulosa y Papel. INIA Madrid. villar@inia.es

En España, aunque la producción de papel se ha visto afectada en los últimos años por la crisis económica, sigue creciendo por encima del producto interior bruto, indicando que es un sector que se encuentra en desarrollo. En 2006 se fabricaron por primera vez más de seis millones de toneladas de papel y cartón (6,35 MM t) y más de dos millones de toneladas de pulpa (2,04 MM t). En 2014 la producción de papel se mantuvo por encima de los seis millones de toneladas (6,04 MM t) y la de pulpa solo bajó ligeramente de los dos millones (1,86 MM t). Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta el sector es el cambio en la legislación acerca de política energética, limitando las ayudas a la cogeneración. No obstante, desde el 2011, al superar a Francia, España es el quinto país europeo en producción de pulpa y tras superar al Reino Unido en 2006, el sexto productor de papel.

Tabla 1. Datos económicos de España en 2014

Población	46.439.864
Superficie	505.990 Km ²
Población Activa	23.026.800
Tasa de Desempleo	23,7%
Producto Interior Bruto	1.058.469.000.000 €
Consumo de papel	135,0 Kg/habitante

Con una población que supera los 46 millones de habitantes, el consumo de papel y cartón en 2014 se ha situado en 135 Kg por persona, lo que supone un retroceso respecto a los años previos a la crisis económica. Este retroceso también ha sido experimentado, en mayor o menor medida, en la mayoría de países europeos, pero posiblemente el dato más destacado sea que desde 2011 el consumo por habitante se encuentra bastante estabilizado. El consumo aparente de papel ha sido de 6,26 millones de toneladas y supuso un crecimiento del 2,8% sobre el año anterior. El subsector de cartón ondulado presenta valores de producción estabilizados, mientras que las caídas más acusadas (cercasas al 6%) se encuentran en el área de impresión y escritura. En el último año se observa un pequeño aumento en el consumo, que al haber descendido ligeramente la producción se cubre con un pequeño aumento en las importaciones.

La industria para la producción de fibra virgen se abastece principalmente de *Eucalyptus globulus* y en menor medida de *Pinus radiata*. El consumo global es de casi 5,7 millones de m³ de los que 1,2 se importan, lo que supone el uso de un 78% de madera nacional. En España se cultivan 420.000 Ha de pino y eucalipto que se mantienen expresamente para uso papelerero, lo que supone el 2,3% de la superficie arbolada del país. Se estima que la capacidad de fijación de estos cultivos es de 7,6 MM t de carbono almacenado, lo que equivale a 27,8 MM t de CO₂ equivalente. El 100 % de las fábricas de pulpa cuentan con certificación forestal, así como el 100 % de los proveedores de pulpa para el mercado nacional.

Tabla 2. Producción y mercado de productos papeleros			
Papel y Cartón	2013	2014	Variación
Producción	6.181	6.036	-2,4
Consumo	6.085	6.257	2,8
Importación	2.951	3.137	6,3
Exportación	3.047	2.915	-4,3
Pulpas	2013	2014	Variación
Producción	1.976	1.863	-5,7
Consumo	1.921	1.813	-5,6
Importación	1.162	1.048	-9,8
Exportación	1.217	1.098	-9,8

La producción de celulosa está principalmente destinada a la pulpa de mercado y solo el 35% de la producción está integrada con la fabricación de papel. Dicha producción se centra casi exclusivamente en pulpa química (Kraft) con cantidades menores de pulpas mecánicas y semiquímicas. La clasificación de las fábricas por su capacidad de producción se distribuye de forma similar entre pequeñas instalaciones (hasta 100.000 t/año) y las de mayor tamaño que pueden superar las 250.000 t/año (véase tabla 3).

Tabla 3. Características de la fabricación de pulpa en España (2014)			
Capacidad (t/año)	Fábricas		
0 – 25.000	3		
25.000 – 100.000	2		
100.000 – 250.000	3		
+ 250.000	2		
Madera (miles m³)	total	nacional	importada
Frondosas	4.525	3.311	1.214
Coníferas	1.153	1.145	8
Total	5.678	4.456	1.222
Tipo de pulpa	Producción (miles t)		
Mecánica y Química	1.838		
Semiquímica y otras	25		
Total	1.863		
Destino de la pulpa	Producción (miles t)		
Mercado	1.216		
Integrada	647		
Total	1.863		

Respecto a la producción de papel y cartón a partir de fibra recuperada, España continua a la cabeza de la Unión Europea, utilizando 5,05 MM t de papel recuperado, cifra solo superada por Alemania. Esto supone que la tasa de utilización⁽¹⁾ de la industria nacional esté en 83,7% una de las más elevadas de Europa. Parte de ese aumento en el consumo de papel viejo procede de un aumento de la recogida que, con 4,4 MM t eleva la tasa de recogida⁽²⁾ nacional al 70,9%. No obstante, las exportaciones, fundamentalmente hacia China, crecieron en un 34% por lo que ha sido necesario importar 1,5 MM t de papel para reciclar, prin-

principalmente procedente de Francia y Portugal. El consumo de papel para reciclar expresado como tasa de reciclaje se situó en el 80,8%⁽³⁾, indicando la importancia del reciclado en la industria nacional. La tabla 4 recoge estas cifras y su evolución respecto al año precedente.

Tabla 4. El reciclado en la industria papelera (2014)

Reciclaje	2013	2014	Variación
Recogida aparente (miles t)	4.266	4.439	4,1 %
Importación (miles t)	1.545	1.505	-2,6 %
Exportación (miles t)	666	892	33,9 %
Consumo (miles t)	5.145	5.053	-1,8 %
Tasa de Utilización (%)	83,2	83,7	0,5 %
Tasa de Recogida (%)	70,1	70,9	0,8 %
Tasa de Reciclaje (%)	84,6	80,8	-3,8 %

(1) tasa de utilización (%) = papel recuperado como materia prima / producción de papel y cartón

(2) tasa de recogida (%) = recogida de papel y cartón / consumo de papel y cartón

(3) tasa de reciclaje (%) = consumo de papel y cartón recuperado / consumo de papel y cartón

La producción de papel y su consumo está concentrada en dos categorías: papel para cartón ondulado y los papeles de impresión y escritura (papel prensa incluido). Entre ambas calidades casi alcanzan las tres cuartas partes de la producción nacional. En los últimos años ha habido un cambio de tendencia en el sector, disminuyendo notablemente las importaciones, que superaban las 4,3 MM t en 2006 y en 2014 se sitúan en 2,9 MM t, mientras que las exportaciones se encuentran estabilizadas (2,8 MM t en 2006 frente a 2,9 MM t en 2014). Este cambio es el principal responsable de que la caída en el consumo haya tenido solo un pequeño impacto en los datos de producción.

El sector de la fabricación de papel cuenta con industrias de mucho menor tamaño que el sector de la celulosa. No obstante, en los últimos años el sector está sufriendo un cambio en el que se tiende a concentrar la producción. Así, el número de fábricas ha disminuido en los últimos años pasando de 108 en 2006 a 67 en 2014. Si se analiza este cambio por segmentos de capacidad, el número de fábricas con una capacidad menor a las 50.000 t/año ha pasado de 73 en 2006 a 36 en 2014 mientras que para fábricas de más de 100.000 t, la variación en el

mismo periodo, ha sido de 20 a 19. Incluso, si nos centramos en las fábricas de más de 250.000 t/año, han aumentado de 3 a 5. Esta agrupación de la producción hace que la caída de casi un 40% en el número de fábricas se corresponda con una caída en la producción del 5% en los mismos años. La tabla 5 recoge los datos de producción y del mercado de papel y cartón desglosados en sus diferentes calidades.

Tabla 5. Características de la fabricación de papel en España (2014)				
Capacidad (t/año)	Fábricas			
0 – 25.000	22			
25.000 – 100.000	26			
100.000 – 250.000	14			
+ 250.000	5			
Clases	Producción	Consumo	Exportación	Importación
Prensa + impresión / escritura	1.410	1.480	1.233	1.303
Para cartón ondulado	2.834	2.753	966	885
Cartón estucado	279	606	143	469
Higiénicos y sanitarios	679	652	175	148
Otros	834	767	399	332
Total	6.036	6.257	2.915	3.137

Nota sobre la elaboración del informe.

En su mayor parte, este informe se ha elaborado con datos de la Memoria de Sostenibilidad de 2015 y la información estadística de 2014 de ASPAPEL (Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón). Se agradece la ayuda de ASPAPEL, facilitando estos datos. Los datos que recogen las tablas se han confeccionado con datos de estos informes y con alguna inclusión (tabla 1) del Instituto Nacional de Estadística. Se trata pues de un breve resumen que no pretende sustituir a la información mucho más extensa de las fuentes originales a las que se remite a todo aquel interesado en ampliarla. Los interesados en detalles sobre fabricantes de celulosa, papel y cartón en España, pueden consultar la página web: www.aspapel.es, donde se relacionan las empresas asociadas.

XXI

PULP AND PAPER INDUSTRY IN FINLAND

Maria Soledad Peresin¹, Bruno Lönnberg², Pirkko Molquentin-Matilainen³³, Pedro Fardim²

1. Finland: The most forested land in Europe

Located in Northern Europe, The Republic of Finland is the most forested area in the whole Europe (see Figure 1).

The total volume of timber of forest in Finland is 2,189 million cubic metres and for a few years now, the Finnish forest annual growth has already exceeded one hundred cubic metres. Due to extreme climatic conditions, Finnish trees grow only over the growing season, which in Finland is about 80 days.

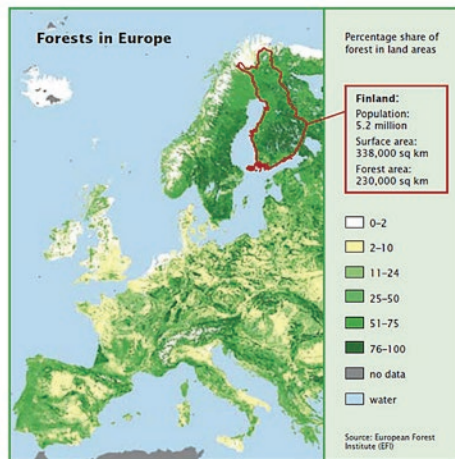


Figure 1. Percentage share of forest in land areas.

1. VTT Technical Research Centre Finland, Biologinkuja 7, FI 02044 VTT. Espoo, Finland. soledad.peresin@vtt.fi

2. Åbo Akademi University, Porthansgatan 3, FI 2500. Turku/Åbo Finland. blonnber@abo.fi, pfardim@abo.fi

3. Paper Engineer's Association, Finland Spektri Business Park . Metsänneidonkuja 4, 02130 Espoo, Finland. pirkko.molquentin-matilainen@papereng.fi

Even though large areas of Finnish territory were surrendered to the Soviet Union at the end of the Second World War in the 40's, the Finnish timber resources increased by 60% since the beginning of the 20th century. Presently there is 111 cubic metres of timber per hectare of forest land, while in the 70's there were only 75 cubic metres.

75% of the Finnish land (338,424 km²) is covered by forests, and with a population of 5,4 Millions, there is about 4 hectares of forest for every Finn. Figure 2 shows the distribution of the Finnish land, which is classified depending on its use, 86 percent of land area is forestry land (the rest is agricultural land, built-up areas etc.) which according to the yearly increment is divided in the following categories:

- a) Productive forest land with an increment of over one cubic metre per year per hectare
- b) Low productive forest land with an increment between 0.1 and 1 cubic metre per hectare per year
- c) Other forest land with an increment of less one cubic metre per year per hectare

Finnish productive forest land accounts for 20.3 million hectares, of which 34% consists of mires. An increase of forest land between 50's and 80's is due to the draining of mires, which resulted in lands with higher productivity per hectare (Ministry of Agriculture and Forestry, Finnish Forest Research Institute).

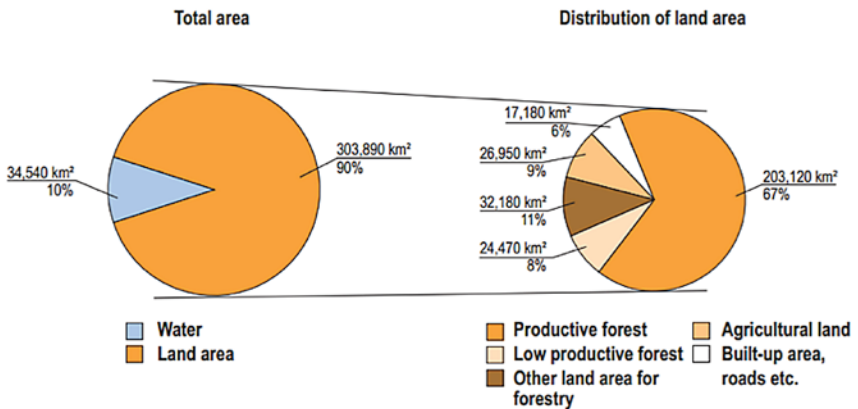


Figure 2. Distribution of the Finnish land (Source: Statistical Yearbook of Forestry 2013, Finnish Forest Research Institute; Statistics Finland 2013)

From the total of 20.3 million hectares is available for wood production, 60 per cent of this is privately owned, accounting for 740,000 individual forest owners (14% of the total population). 26% of the Finnish forestry land is state-owned (mainly located in the north of the country), 9% is privately owned and other parties own 5%. 13% of the Finnish forest area is strictly protected of the state-owned forest is strictly protected or under restricted use, representing the biggest protected area in the whole Europe (See Figure 3). (Ministry of Agriculture and Forestry, Finnish Forest Research Institute)

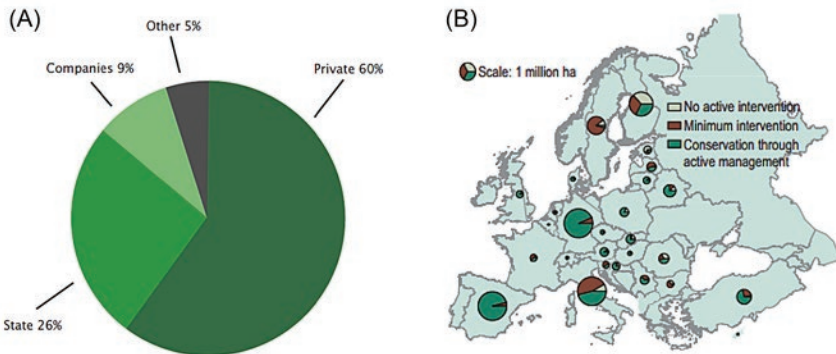


Figure 3. Ownership of Finnish forest land (A) Source: Forest and Forestry in Finland report. Ministry of Agriculture and Forestry; Location of protected land forest in Europe (B) Source: State of Finland's Forests 2011 report. Ministry of Agriculture and Forestry

2. Trees species

Finland is located in the boreal coniferous zone, with rather poor and acid soils, which allow very few tree species to grow. Nearly half of the Finnish timber stock consists of pine (*Pinus sylvestris*), followed by spruce (*Picea abies*) downy birch (*Betula pubescens*) and silver birch (*Betula pendula*). These species constitute 97% of total timber volume in Finland. Most of Finnish forests are formed by more than one species (Statistical Yearbook of Forestry 2013, Finnish Forest Research Institute). Figure 4 shows the distribution of trees species in the year 2012.

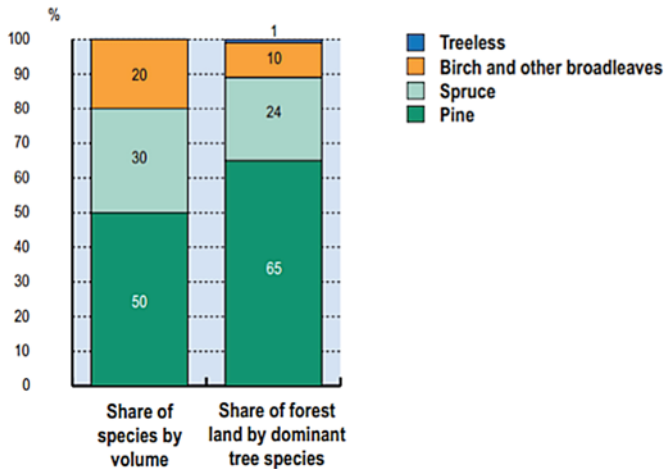


Figure 4. Distribution of trees by species in the year 2012 (Source: Statistical Yearbook of Forestry 2013, Finnish Forest Research Institute).

3. *The Finnish forest industry and its impact in Finland's economy in a nutshell*

The forest sector is one of the main pillars of the Finnish economy, employing directly nearly 48,000 people in Finland, from which 46% works in the paper industry, and the rest in wood products industry including furniture production (Statistics Finland, National Accounts 2012, Finnish forest industry federation). Naturally, indirect employment derived from it is much larger. 18% of the Finnish industrial output value and nearly 15% of the industrial jobs corresponds to the Finnish forest industry (Statistics Finland, Regional and industrial statistics on manufacturing, National Accounts, Finnish forest industry federation). Finnish forest industry impacts also global economy, giving employment to nearly 46,000 people in other countries, mainly in Europe (Statistics Finland, Subsidiaries Abroad, Finnish forest industry federation).

In 2012, the forest industry production accounted for 19.4 billion euros, including wood products (6.8 millions) and pulp and paper industry (12.6 millions) (Statistics Finland, Regional and industrial statistics on manufacturing, 2012 preliminary, Finnish forest industry federation).). Even though it was 2.7% lower than the previous year, the Finnish forest industry exports accounted for 11 billion euros in 2013 (20% of total exports) (National Board of Customs, Finnish forest industry federation).

4. The pulp and paper industry

4.1. Historical evolution of Finnish pulp and paper industry

Finland is a forested country. This is of course the main reason that our country so far has been, in a way or another, dependent on the forest and its resources. However, there is at least one more prerequisite of successful forest utilisation, and that is the thousands of lakes and water streams in Finland, that have made it possible to transport tree logs to the pulp mills, or for example tar barrels to the export harbours. Oulu River, Kokemäki River and Kymi River are the largest rivers flowing into the Baltic, but there are a number of smaller streams that attracted pulp and paper mills as well. Nowadays the water transport of logs has been replaced for fast truck transportation, but the lakes and streams are still providing fresh water for the pulping and papermaking processes.

The Finnish forest has always provided shelter, energy and pleasure for the inhabitants. Houses were and are still built of logs and board. Wood can be burnt for heating purposes, for example for a hot sauna bath. And the forest has always been a place for various physical activities and mental rest. Also, the forest provides young birch trees for the Midsummer celebration and spruce trees for Christmas. - These are just some examples of possibilities that the northern forests may provide.

The main utilisation of the forest trees is due to their fibrous composition. Tree logs may be converted to pulp by liberating the fibres by mechanical or chemical means. The pulps are the basis for a number of various paper grades, from cheap printing papers, aimed for daily newspapers, to high-quality printing papers including bank note papers. These products, along with various boards, have been the backbone of the Finnish national economy. And they still are very important, although their share of the export income has decreased significantly. Presently, the printing papers are slowly declining, but on the other hand packaging papers and board are growing, which most probably increases investments in kraft pulping.

4.2. Forest products

Before pulping and papermaking were introduced in Finland, the forest was a source for charcoal and tar, which were useful stuff, and later important export products. The early iron and steel production, both in Finland and elsewhere in Europe, was dependent on charcoal, which guaranteed high-quality steel products. Tar again was utilised for painting the wooden board on houses and, the thick tar pitch remaining after distillation for turpentine, was utilised particularly for impregnation of house roofs. In fact, every item that needed to be protected was treated by tar, for example boats and rope.

Tar and turpentine were even used in early medicine. In the nineteenth century, a very famous “doctor” in Snappertuna, Raseborg, Finland, was called to S:t Petersburg to cure the tsar who suffered from constipation. When “Sandsundarn” Karl Gustav Knopman entered the palace, he asked for warm water and turpentine (Jansén 2014).- A Finnish saying concludes that “if not sauna, alcohol and tar help, your disease is deadly”.

Charcoal and tar were initially produced in traditional charcoal stacks or tar pits. Pine wood contains more pitch than spruce and was thus preferred as raw material. The logs were stacked leaning on each other, and on top spruce branches and moss were put to isolate the stack from the surrounding air. The smoke gases containing water steam, carbon monoxide/dioxide and hydrogen were lost in the air. But charcoal was yielded, and initially acetic acid, and finally turpentine and tar etc., were collected from the pit (Talvitie 1947).

4.3 Mechanical pulping

4.3.1. Grinding

The early mechanical pulp mills had to be located at water rapids, where a water wheel was rotating the grindstone. The short wood logs were compressed against a stone surface, which applied shearing forces on the wood surface. Compression of the wood logs in combination with the shearing caused frictional heat. This complex fibre liberation mechanism produced long, well fiberized or broken, woody fibres, and dependent on the conditions in the thin wood layer next to the stone surface. The “groundwood” was mixed with rags for early papermaking. Wood grinding is still a useful method, and it has been developed continuously for almost two centuries. Nowadays, however, it is mixed typically with bleached kraft pulp to provide, dependent on its proportion, newspaper or various printing paper grades.

Wood grinding was described by J. C. Schäffer, Germany, already in the 18th century. But he ground sawdust as to be used in paper, and his idea was never employed commercially. One century later, the wood grinding process was further developed independently by F. G. Keller, Germany, and C. Fenerty, Nova Scotia, Canada, in 1843 - 1844. Fenerty had started experimental grinding of wood billets about ten years earlier, but he failed to develop an industrial process. However, Keller was successful in producing – assisted by his wife - one hundred kilograms of groundwood by a hand-driven grinder. This groundwood was mixed with rags and made to paper for some copies of the Frankenberg weekly paper in 1845, which year Keller also got his invention patented. The following year he sold the patent rights to H. Voelter, Germany. Voelter developed the

grinding equipment together with J. M. Voith at Voith's engineering works in Heidenheim, Germany. They installed their two first grinders at Voelter's papermill in 1852, and two years later they sold their first multipress grinders to a Swiss papermill. The grinder was also presented at the 1855 World Fair in Paris, after which more than twenty grinders were sold by 1860 (Sundholm 2009).

C. J. Jansson, born in 1846 in Turinge, Sweden (picture presented by PI/ Finnish Paper Engineer's Association, Helsinki), was referred to in *Das Papier* by E. Kirchner, Germany, concerning wood grinding. I. Sourander, Nokia, Finland, started discovering the background, and found Janssons booklet published in 1878, and thus he published a second issue in 1925. Jansson had his practical education at the Nykvarn paper mill, Sweden, but moved to Funnefos, Norway, where he successfully developed the groundwood quality. Jansson introduced heating of the wood logs by hot water or steam prior to grinding, and he also improved the collergang process including control of the clearance. Subsequently, Funnefos received first prize at the 1876 World Exhibition in Philadelphia, U.S.A., for its "paper products that were the strongest and best of all exhibited wood papers produced by mechanical means". During his time in Finland, Nokia (1878 - 1880) and later Tammerfors/Tampere (1884 - 1896), Jansson helped the companies to improve the pulp and board quality to a commercially successful level. In Nokia, Jansson increased the stone revolution speed, but simultaneously decreased the feeding pressure. And he also introduced a stone sharpening tool, modified the refiner-stone grooves and the shaking sorters for a better pulp and paper strength. At the Roofing-Felt Co., Tammerfors, he started to heat the logs prior to grinding, and that way high-quality cartridge board could be produced (Jansson 1925; Lönnberg 2013).

It seems that Jansson was one of the first to understand the grinding mechanisms, although he had no education except a three-year model carpentry school, which carpentry he was practising for some time at Nykvarn. In fact, he applied all modern methods, i.e. stone grooving and sharpening, a best combination of stone speed and wood compression against the stone, as well as heating of the wood logs.

The grinder and grinding process were further developed. As the initial groundwood contained too many shives to fit directly into paper, the shives had to be screened off and this reject had to be properly refined. Consequently, Voith introduced the first "raffineur" in 1859, which may be considered a start of the refining technology (Sundholm 2009).

The natural grindstones were of variable quality, so they were little by little replaced for man-made grindstones made of quartz sand and cement since the

1870's by Hercules, Germany, and Norröna, Norway. The synthetic ceramic grindstones were developed in the 1920's in North America by Norton and Carborundum. The grinders were simultaneously developed, and Voith installed the first chain grinder in 1922 for one metre logs in Schongau. And the first hydraulic Great Northern grinder was installed in East Millinocket in 1926. Tampella, Finland, built the first grinder for the domestic Anjala paper mill in 1937, under licence by Great Northern-Waterous (Sundholm 2009).

F. Powell, F. Luhde and K. Logan, Canada, tested pressurised wood grinding on a laboratory scale in the early 1960's, but they concluded that pressurisation rather would fit into the chip refining process. Anyhow, A. Lindahl, Sweden, suggested to M. Aario and P. Haikkala of Tampella that pressurised log grinding should be developed. Accordingly, mill scale tests were conducted at MoDo's Bure mill in Sweden, which in 1979 made it possible to install the first pressurised grinders of a completely new design, in both Bure and Anjala. By the mid 1980's the pressurised groundwood (PGW) had been developed to a major wood grinding process under the leadership of A. Kärnä, Tampella (Sundholm 2009).

4.3.2. Refining

The wood grinding equipment was initially applied on sawdust and later perhaps on chips, too, but in the long run the disc refining of sawdust and particularly chips was successful. Refining of wood chips in the gap between rotating stones and later metal discs is somehow an application of the old grainmill driven by a water wheel or wind mill. The stone discs were also grooved as to let the flour/fibres exit from the gap. The conical refiner used for beating of fibre pulps, to decrease their shive content and improve their fibrillation degree and flexibility, or for refining of shives, may be considered a combination of the grinder and disc refiner.

The early "brown groundwood" that was developed by Rasch and Kirchner, Germany, in the beginning of the 1880's was the first technique for mechanical pulp production without the application of grindstones. They steamed the wood logs before chipping, and crushed the chips in a Kollergang before beating in a Holländer. - The modern refining of chips for papermaking had its forerunners in the groundwood-shive raffineurs, the neutral-sulphite semichemical (NSSC) refining process and the Asplund hardboard process (Sundholm 2009).

The chip refining techniques were developed in the U.S.A. in the 1920's. Bauer Brothers Company built their double-disc refiners for production of pulp for Insulite fibreboard, and W. H. Mason had his own "explosion" technique for

masonite fibreboard. - A. Asplund, Sweden, worked for Mason, and supervised the construction of a masonite mill in his native country. Inspired by this, he developed together with KMW the continuous Asplund Defibrator that was installed in 1934 in the Ljusne hardboard mill in Sweden. The method was a basis for the modern continuous thermomechanical pulping (TMP) process and the Kamy continuous cooking process as well, regarding the chip feeding and pulp discharging technology (Sundholm 2009).

The refiner technology was developed all over the world, and under variable ideas leading to RMP (refiner-mechanical), TMP (thermo-mechanical) and CTMP (chemi-thermo-mechanical pulps). In this context spanning over a time period from about 1930 to 1990, it is only possible to mention the important companies: Bauer, Norton, Sprout Waldron, Defibrator, Sunds (Bauer license), Enso (Bauer license), Jylhävaara and Andritz. However, it is worth to mention the 1973 International Mechanical Pulping Conference of Stockholm, because after this the TMP had its break-through. TMP was a stronger pulp and contained less shives than RMP, but required a lot more fiberising energy, although some papers of that conference argued for the opposite (Sundholm 2009).

4.4 Chemical pulping

4.4.1 Alkaline pulping

4.4.1.1. Soda cooking

The first known soda process was used in the ancient China, where bast fibres of mulberry trees were cooked in open vessels by application of wood ash solutions. - Much later, in 1800, Koops, England, was able to fiberize straw by soda cooking in open vessels, but failed to fiberize wood materials. Wood contains more lignin than straw and would hence require higher temperatures as would be the case in pressurised cooking vessels (Virkola 1983).

In 1844, also F. Keller, Germany, made wood cooking experiments by application of sodium hydroxide in open vessels, but was not successful in fiberizing wood. In 1854, however, Mellier, France, C. Watt, England and H. Burgess, U.S.A., introduced coincidentally pressurised cooking, and hence succeeded in fiberizing wood chips. As sodium carbonate - make up for lost chemicals - was expensive, Burgess and Keen developed an incineration method that significantly improved the alkali recovery to 85 %. Thus, the first soda pulp mill could be started in 1860 in U.S.A. In Finland, the first soda pulping process started in 1875 in Nurmi, but had to shut down half a decade later. Fortunately, there was another soda pulp mill established in Valkeakoski in 1880 (Virkola 1983; Gustafsson 2011; Häggblom 1966).

4.4.1.2. Kraft cooking

Stratchan, England, found early in the nineteenth century (the Napoleon wars), that soda cooking of straw could be improved by adding sulphur and sulphide into the cooking liquor. However, it took until 1871 before the idea with added sulphide was applied in chemical wood fiberizing, when Eaton, U.S.A., was granted a patent (Gustafsson 2011).

In 1879, C. Dahl, Germany, discovered that sodium carbonate (soda) as make-up could be replaced for cheaper sodium sulphate (glauber salt). Reducing conditions in the incineration led to a cooking liquor that contained both sodium hydroxide and sodium sulphide as active chemicals. Dahl is accordingly considered being father of this “sulphate” or later “kraft” pulping process. In Sweden, the first sulphate pulp mill was started in Jönköping in 1885, and in Finland the Valkeakoski soda pulp mill was changed to a sulphate mill in 1886. The following sulphate pulp mills in Finland were built as late as in the beginning of the 20th century (Virkola 1983, Gustafsson 2011; Häggblom 1966).

Since then the kraft process has developed tremendously both in capacity, quality and technology. The new recovery system developed by G. Tomlinson, U.S.A., in the 1920’s should be mentioned, as it was a continuous process, which later made it possible to improve the heat economy and the chemical balance (Virkola 1983).

4.4.2. Acidic pulping

4.4.2.1 Acidic bisulphite cooking

P. Clausen, England, received an American patent in 1851 for his straw pulping method that started with an alkali impregnation and continued with a sulphurous acid or sulphur dioxide treatment. However, the invention was obviously not applied to any larger extent (Gustafsson 2011).

B. Tilghman, U.S.A., observed when treating fats by hydrobisulphites, that the wooden plugs in the reaction tanks slowly softened to a pulp. Accordingly inspired, he and his brother started experimenting with sodium, magnesium and calcium bisulphites on wood. Their first successful cooks on a laboratory scale were made in 1865 by using Ca- bisulphite and sulphurous acid. This method was patented the next year in England, and in 1867 in Germany and the U.S.A. Tilghman also planned to start a bisulphite pulp mill, but as the soda price decreased, he considered that his process could not economically compete with the alkaline soda pulping (Gustafsson 2011; Häggblom 1966; Alhoniemi 1983; Talvitie 1948).

The first Finnish bisulphite pulp mills were started in the mid 1880's at Kymi, Kuusankoski and Nokia. They were all Ca-bisulphite based mills. Some years later two more mills started up at Kymintehdas and Jämsänkoski. For example in 1918, when Finland got politically independent, its production of sulphite pulp was 20 000 tons. Twenty years later it had grown to about 1 million tons, and two thirds of the sulphite pulp had been bleached. In addition, Finland produced annually almost half a million tons of kraft pulp, and was ranking third in the total pulp production including sulphite and kraft pulps. U.S.A. was ranking number one with 31 % of the entire world production, and Sweden second with correspondingly 18 % (Hägglom 1966; Talvitie 1948).

Later, the acidic calcium bisulphite pulping process lost its markets to the kraft pulp, and initially also to other sulphite pulping alternatives, i.e. the so-called soluble-base processes with magnesium or sodium as cation. Finally, the sulphite processes lost their economic position due to their narrow wood raw material base, which required long fibres and a low pitch content. In the Nordic countries practically only spruce fulfilled these properties. Moreover, the kraft process fit very well to pine with its high pitch content and short-fibered birch as well. Further, the kraft pulp has good paper strength, and the process has a well-working chemical recovery. The problems, if any, are the relatively low pulping yield and the low unbleached pulp brightness. The kraft pulp must be fully bleached to fit modern printing papers, but it can be used also in an unbleached form in packaging papers and paper boards. Currently, kraft pulping is the most important chemical pulping process applied on wood.

4.4.3. Neutral or alkaline sulphite cooking

The drawback of the acidic calcium bisulphite pulping process is its sensitivity to the wood and its impurities. As long as the chemical recovery was not a crucial factor, it was a useful process producing a bright pulp with a pulp yield exceeding 50 %, but with a paper strength far below that of kraft. In fact, the sodium NSSC (neutral-sulphite semi-chemical) pulping process applied on hardwood (birch) is one of the few soluble-base sulphite processes. It produces high-yield pulps after mechanical refining of the cooked chips. Alkaline sodium sulphite would perhaps be a chemical pulping process, provided that some catalytic agent, for example anthraquinone, is applied.

4.5. Papermaking

4.5.1. Papyrus and parchment

History confirms that there has always been a need for communication. Cave paintings, the Assyrian clay tablets, Egyptian papyrus rolls, the Chinese mulberry tree bast fibre papers and parchment were forerunners to modern papers made of wood fibres. The development of modern papers required five millenia. The papyrus paper made of *Cyperus papyrus* – a tall reed of the Mediterranean region – was able to store a lot of information in rolls that were light, but had a limited area. Although papyrus has given its name to paper, it was not made of separate fibres like modern papers are, but of longitudinally cut strips of the papyrus stem pith. After some putrefaction in water, the strips were cross-wise organised into sheets that were hammered to achieve suitable bonding of the strips and thus good strength and a smooth surface. The sheets were finally sun-dried. For extra good writing on papyrus, it was polished with a smooth stone or shell (Lindberg 2008).

Papyrus sheets were glued together, for example twenty sheets in a row that could be rolled for storage. The oldest Egyptian papyrus document was found in a tomb, and it is representing the First Dynasti (about 3000 B.C.). The youngest is from the 11th century papal office. Papyrus Ebers, after a German egyptolog, is one of the famous papyrus rolls dating back to the second millenium B.C. The roll is 20 m long with more than 100 pages of medical notes concerning for example the heart and vessels, and with a large number of recipes (Stora Focus 1989).

However, parchments made of sheep, goat or calf skins became soon more effective, as it was easier to write on them, and on both sides. The skins were washed, soaked in limewater and finally stretched for scraping and smoothening. By tradition, the invention of the parchment has been attributed to Eumenes II of Pergamum in Asia Minor, although it had been practiced long before that. Parchment became the most common writing material by the third century A.D., and finally paper did the same by the late Middle Ages (Lindberg 2008; Stora Focus 1989).

4.5.2. Early papermaking

Tapa is an early paper-like material that was prepared from bast of mulberry, fig and bread-fruit trees. Tapa has been produced for thousands of years in the temperate zones of the globe. However, it was not used for writing, but mainly for clothing and wall covering. Its preparation resembles the Far East technology applied in ancient papermaking. - Felt has also been produced long before the ancient papers. Wool and other hair fibres were moistured and mechanically treated, which procedures resulted in felted mats (Lindberg 2008)

The true papermaking is considered being introduced by Cai Lun in China in 105 A.D., although paper had been produced long before. Typical for papermaking is that the vegetable fibres used are at least mechanically treated to create fibrils. These contain hydrogen bonds that enable effective inter-fibre bonding and accordingly good paper strength and a smooth surface (Gustafsson 2011; Lindberg 2008).

The papermaking spread westwards by Chinese papermakers that were taken prisoners by the Arabs in the Samarkand battle in 751 A.D. The Mediterranean region was under influence of the Muslim domain, and in Spain the first European paper mill was founded in 1144 in Xativa, currently the Valencia region. However, the papermaking reached central and northern Europe independently of Spain. Some of the oldest paper documents in Europe are:

■ Portugal	1288
■ Sweden	1345
■ Finland	1350

And some of the oldest paper mills were:

■ Spain, Xativa	1144
■ Portugal, Leiria	1441
■ Sweden, Stockholm	1565
■ Finland, Tomasböle	1667

According to Encyclopedia Americana, the first American paper mill was founded by the Spaniards in 1575 in Culhuazan close to Mexico City (Lindberg 2008).

The hand-made papermaking remained unchanged for centuries including stamping the fibres to achieve fibrillation, sheet making, pressing the wet sheets to remove water and finally drying them. One must mention the technical improvement introduced by N.-L. Robert, France, meaning that paper formation went continuous. His first trials were made in 1793, and in 1798 he introduced his wooden construction that continuously could produce an endless paper web, 64 cm in width. The patent was granted one year later. To make a long story short, Didot acquired the patent rights and introduced the new idea to Henry Fourdrinier and his brother. They decided to take part in the development and its financing, and they patented the device in England in 1801. Later paper machines with continuous wire belts have been called “fourdrinier” machines. The belt machine was a lucrative business for England, but not for the Fourdrinier brothers who went bankrupt in 1810. Brian Donkin had built 42 machines by 1822, at the time when the volume of machine-made paper exceeded that of hand-made paper (Lindberg 2008). This was long before the big inventions of wood grinding and chemical pulping.

The Tomasböle mill in Pojo, currently Raseborg, Finland, was founded by bishop J. Gezelius the Elder in cooperation with a German paper maker. It served mainly the old Åbo Akademi university that had been established in 1640. However, Tomasböle was laid down already in 1713 due to wartime, and it took until the 1760’s before the following paper mill was established, and now close to Turku/Åbo. Shortly several paper mills were established in Finland, but particularly the Tampere/Tammerfors paper mill that started in 1785 was important, because it got in 1841,

during the masterprinter J. C. Frenckell’s ownership, the first paper machine (On the internet: www.uppslagsverket.fi/bin/view/Uppslagsverket/Pappersindustri).

4.6. The Finnish pulp and paper industry today

A great lot of improvement had the Finnish pulp and paper industry had gone through since then and today is among the main players worldwide. According to CEPI (Confederation of European Paper Industries), in 2013 Finland ranked second as pulp producer in Europe with 28.2% of the total pulp production (37.3 Million Tonnes) (CEPI Key Statistics, 2013) Additionally, Finland was the third pulp, paper and board largest European producer in 2013 (CEPI Key Statistics, 2013) (see Figure 5)

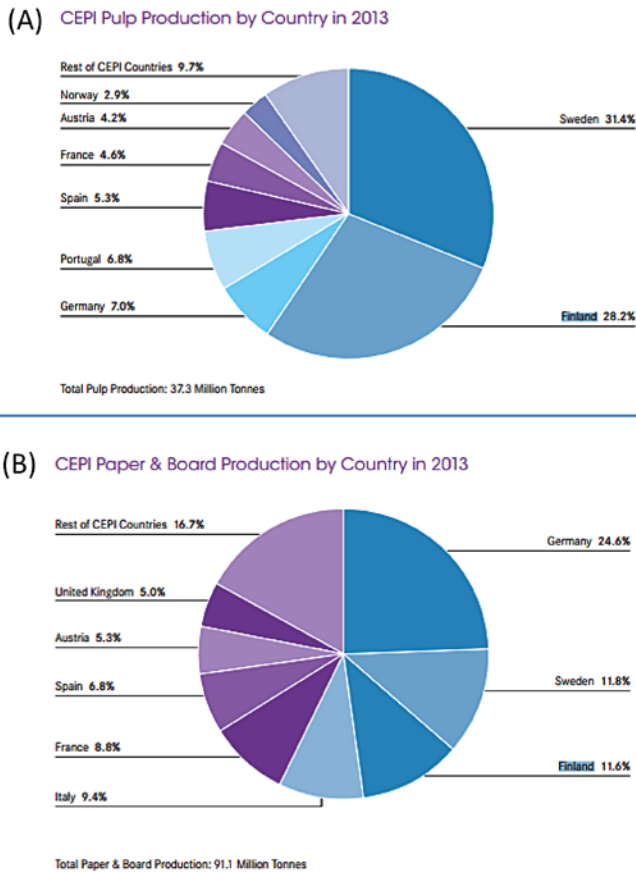


Figure 5. CEPI Pulp production (A) and CEPI Paper and board production by country in 2013. Source: (CEPI Key Statistics, 2013)

In 2013, pulp production in Finland was 7.1 million tonnes, accounting for 40% of the share of exports. (See Figure 6 (A)). Additionally, 10.6 million tonnes of paper and cardboard were produced, including printing and writing (6.3 million tonnes), paperboard (2.9 million tonnes) and other paper. Figure 6 (A) shows the evolution of paper production, separated in categories since 1960.

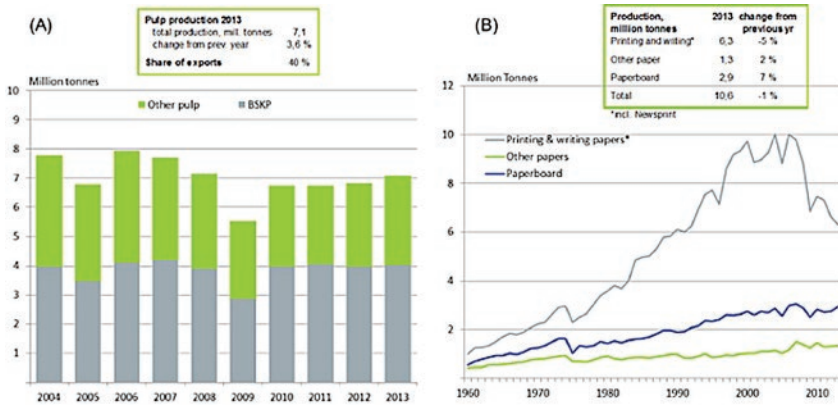


Figure 6. Paper and paperboard production in Finland. Source: Finnish Forest Industry Federation

Not alien to the global recession, the production of the pulp and paper sector has been forecasted to decrease to a third in the period from 2007 to 2020. Similarly, forecasts show BSK that wood processing production will be reduced in fifth. (See table 1)

Table 1. Finnish Forest Industry Production in 2007 and forecast for years 2015 and 2020 (in millions of tons and millions m3) Source: Hetemäki 2009

	2007	2015	2020	Change 2007-2020	
				Quantity	%
Pulp and paperboard	14.3	10.8	9.4	4.9	-34
Pulp	12.9	9.0	7.5	5.4	-38
Wood products	14.3	11.8	11.9	2.4	-17

The decrease in the national main exports, as well as the increased competitiveness of competing countries (Asia, Sweden, West Europe) reflects

on such recession in production. The flagging of export markets is strongly influenced by the global economic decline affecting prices and product demand, the increasing use of electronic media leading to an important decrease in demand and price of communication paper such as newsprint and printing papers, and finally the overloading increasing offer of paper products from Asian and Western markets (Hetemäki 2009).

5. Pulp and Paper production sites and research centres in Finland

Nowadays, there are 22 paper mills, 12 paperboard mills, 14 chemical pulp mills and 2 BCTMP (bleached chemithermochemical pulp) mills in Finland (Finnish Forest Industry Federation). Figure 7 shows the distribution across the country of the paper-, paperboard-, chemical pulp-, BCTMP-mills and companies (A) as well as the paper and paperboard converting plants in Finland Members of the Finnish Forest Industries Federation (B) updated to 2014.

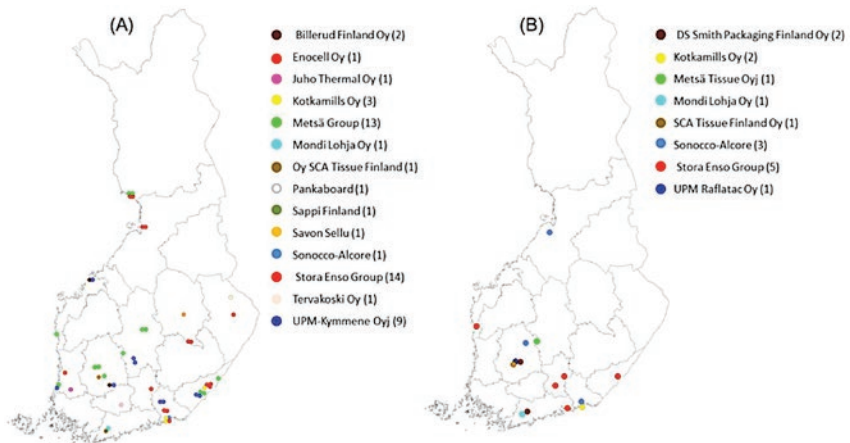


Figure 7. Paper-, paperboard-, chemical pulp- and BCTMP-mills in Finland, companies (A); Paper and paperboard converting plants in Finland Members of the Finnish Forest Industries Federation (B) Source: Finnish Forest Industries Federation

5.1. List of Paper-, paperboard-, chemical pulp-, BCTMP-mills and companies in Finland and their specific locations:

- BillerudKorsnäs Finland Oy: Pietarsaari and Tervasaari
- Enocell Oy: Uimaharju
- Juho Thermal Oy: Kauttua
- Kotkamills Oy: Kotka and Tainionkoski
- Metsä Group:
 - Metsä Board Kemi Oy: Kemi
 - Metsä Board Oyj: Joutseno, Kaskinen, Kyro, Simpele, Tako, Äänekoski
 - Metsä Fibre Oy: Joutseno, Kemi, Rauma, Äänekoski
 - Metsä Tissue Oyj: Mänttä
- Mondi Lohja Oy: Lohja
- Oy SCA Hygiene Products Ab: Nokia
- Sonoco-Alcore Oy: Kotka
- Stora Enso Group:
 - Stora Enso Ingerois Oy: Inkeroinen
 - Stora Enso Oyj, Fine Paper: Oulu
 - Stora Enso Oyj: Heinola, Imatra, Oulu, Sunila, Veitsiluoto
 - Stora Enso Oyj, Publication Paper: Veitsiluoto,
 - Stora Enso Publication Papers Oy Ltd.: Anjala, Varkaus
 - Stora Enso, Corenso United Oy Ltd
- Tervakoski Oy: Tervakoski
- UPM-Kymmene Oyj: Jämsänkoski, Kaipola, Jämsä, Kaukas, Lappeenranta, Kymi, Kuusankoski, Pietarsaari, Rauma, Tervesaari

5.2. List of Paper and paperboard converting plants in Finland Members of the Finnish Forest Industries Federation their specific locations:

- DS Smith Packaging Finland Oy: Nummela, Tampere
- Kotkamills Oy: Kotka
- Metsä Tissue Oyj.: Mänttä
- Mondi Lohja Oy: Lohja
- SCA Tissue Finland Oyj: Nokia
- Sonoco-Alcore Oy: Karhula, Ruovesi, Ruukki
- Stora Enso Group:
 - Stora Enso Packaging Oy: Heinola, Lahti, Tiukka
 - Stora Enso, Corenso United Oy Ltd: Imatra, Loviisa
 - UPM Raflatac Oy: Tampere

5.3. *List of Research units dealing with studies on pulp and paper:*

- VTT Technical Research Centre of Finland – Fibers and Biobased materials units: Espoo and Jyväskylä
- KCL – Pilot services for the paper industry: Espoo
- METLA – Finnish Forest Research Institute: Vantaa, Tuusula, Läyliäinen
- Aalto University, School of Chemical Technology, Department of Forest Products Technology: Espoo
- Åbo Akademi University, Department of Chemical Engineering: Turku
- Lappeenranta University of Technology, LUT Chemtech: Lappeenranta
- Tampere University of Technology, Department of Materials Science: Tampere
- University of Jyväskylä, Department of Chemistry: Jyväskylä
- University of Oulu, Faculty of Technology, Process and Environmental Engineering: Oulu

References

- Alhoniemi, E., Laine, J. E. and Kettunen, J., Sulfiittisellun valmistus (Sulphite pulping). Chapter 9, p. 411-412. In: N.-E. Virkola (Book editor), Puumassan valmistus (Wood Pulping), Finnish Paper Engineers' Handbook II, Part 1, Second completely updated version. Published by Finnish Academy of Technical Sciences and Finnish Paper Engineers' Association. Printed by Oy Turun Sanomat/Serioffset, Turku 1983 (In Finnish).
- CEPI, 2013. Key Statistics. European Pulp and Paper Industry. Confederation of European Paper Industries.
- Finnish Forest Association. Available www.forest.fi (accessed August 2014)
- Finnish Ministry of Agriculture and Forestry Finland. Available <http://www.mmm.fi/> (accessed August 2014)
- Gustafsson, J. et al., Pulping. In: P. Fardim (Book editor), Chemical Pulping Part 1, Fibre Chemistry and Technology, Second Edition, Totally updated version, Papermaking Science and Technology, Book 6 (Part 1), p. 190-192, Published by Finnish Paper Engineer's Association/Paperi ja Puu Oy, Printed by Gummerus Oy, Jyväskylä, Finland 2011.
- Hetemäki, L. and Hänninen, R. "Outlook for Finland's Forest Industry Production and Wood Consumption for 2015 and 2020" Finnish Forest Research Institute (2009)
- Häggblom, I. and Ranta, V., Sulfiitti- ja sulfaattisellulosa valmistus (Production of Sulphite and Kraft Pulp). Printed by Werner Söderström Osakeyhtiön Kirjapaino, Porvoo, 1966 (In Finnish).
- Jansén, J. E., Genvägen: Örter, folktro och kloka gummor (Herbs, popular belief and wise old women), Västra Nyland, December 6th, 2014, p. 22. Published by KSF Media. Printed by Salon Lehtitehdas, Finland 2014 (In Swedish).

- Jansson, C. J., Praktisk Handbok i Träpappersfabrikation jämte Kartonpapps Tillverkning af Slipad hvit-trämassa (Practical Handbook in Production of Wood Paper and White Groundwood Board), Second edition (by I. Sourander), Tammerfors (Tampere) 1925.
- Koskela, M. “Measuring eco-efficiency in the Finnish forest industry using public data” *Journal of Cleaner Production*, Available online 30 April 2014
- Lindberg, N. J., History of papermaking, In: H. Paulapuro (Book editor), Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End, Second Edition, Totally updated version, Papermaking Science and Technology, Book 8, p. 62-75. Published by Finnish Paper Engineer’s Association/Paperi ja Puu Oy. Printed by Gummerus Oy, Jyväskylä, Finland 2008.
- Lönnberg, B., Wood Pulp Production by C. J. Jansson, *Journal of the International Association of Paper Historians (IPH Paper History)*, Volume 17, Year 2013, Issue 2, p. 25- 29. Printed by Proventus Grafisk; and C. J. Janssons metod för tillverkning av träpapper (C.J. Jansson’s Method for Production of Wood Paper), *Nordisk Pappershistorisk Tidskrift* 4/2013, p. 54-57, Main Editor Esko Häkli. Published by Föreningen Nordiska Pappershistoriker. Printed by Multiprint, Finland, (Papers based on a Presentation given at the Nordic Paper Historian’s Annual Meeting in Lappeenranta, Finland, June 5-7th, 2013).
- On the internet: uppslagsverket.fi/bin/view/Uppslagsverket/Pappersindustri
- Pakarinen S., Mattila, T., Melanen, M., Nissinen, A., Sokka, L. “Sustainability and industrial symbiosis—The evolution of a Finnish forest industry complex” *Resources, Conservation and Recycling* 54 (2010) 1393–1404
- Statistical Yearbook of Forestry 2013, Finnish Forest Research Institute Statistics Finland 2013
- Stora Focus. In: H. Uddling (Main editor), Part 10, p. 206, papyrus. Published by Esselte Focus Uppslagsböcker Ab, Stockholm 1989. Printed by Almqvist et Wiksell Tryckeri AB, Uppsala 1989.
- Sundholm, J., History of mechanical pulping. In: B. Lönnberg (Book editor), Mechanical pulping, Second Edition, Totally updated version of Papermaking Science and Technology, Book 5, Chapter 3, p. 23 – 34. Published by Finnish Paper Engineer’s Association/Paperi ja Puu Oy. Printed by Gummerus Oy, Jyväskylä, Finland 2009.
- Talvitie, A., *Kemian teknologia I (Chemical Technology)*, Second updated version. *Kiinteät polttoaineet (Solid fuels)*, p. 228 – 239. Printed by Werner Söderström Osakeyhtiön Kirjapaino, Porvoo, 1947 (In Finnish).
- Talvitie, A., *Kemian teknologia II (Chemical Technology)*, Second updated version. *Sulfittiselluloosan valmistus (Sulphite pulping)*, p. 182-184. *Sulfaattiselluloosan valmistus (Kraft pulping)*, p. 254-256. Printed by Werner Söderström Osakeyhtiön Kirjapaino, Porvoo, 1948 (In Finnish).
- Virkola, N.-E., Pikka, O. and Keitaanniemi, O., *Sulfaattisellun valmistus (Kraft pulping)*. Chapter 8, p. 291-292. In: N.-E. Virkola (Book editor), *Puumassan valmistus (Wood Pulping)*, Finnish Paper Engineers’ Handbook II, Part 1, Second completely updated version. Published by Finnish Paper Engineers’ Association and Finnish Academy of Technical Sciences. Printed by Oy Turun Sanomat/Serioffset, Turku 1983 (In Finnish).

XXII

INDUSTRIA DE PULPA Y PAPEL EN MÉXICO

José Turrado S.¹, Alma R. Saucedo C.¹

La industria nacional en México en 2013 (CNIP, 2014) mostró un incremento en producción global del 1.1 % con respecto al 2012, en este contexto la industria del papel y cartón registro un incremento del 0.5 %, considerando que la industria de celulosa y papel participa en el PIB manufacturero con el 5.7 % y en el PIB industrial con el 2.9 %.

Materia prima fibrosa

Desafortunadamente debido al ancestral problema de la falta de seguridad jurídica en el ámbito forestal, el panorama en esta rama industrial continua siendo sombrío, como lo indican las cifras de producción total de celulosa que en 2013 decreció 4.5 % con respecto al 2012, colocándose en la cifra de 125 mil toneladas. Por su parte el consumo de celulosa importada en 2013 decreció 2.4 % para ubicarse en 528 mil toneladas.

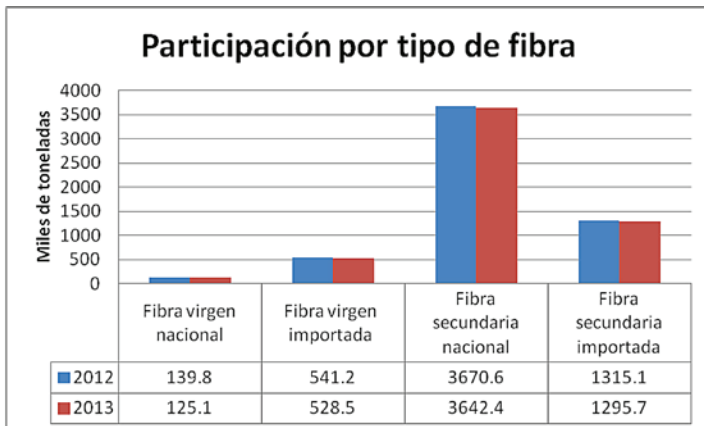


Figura 1, Participación de materia prima fibrosa por tipo y fuente.

1. Universidad de Guadalajara, México

Durante 2012 y 2013 el consumo de materia prima de fibra secundaria importada disminuyó 1.5 % al situarse en 1295 mil toneladas, esta importación representó el 23.9 % del consumo total de fibra para la producción de papel. La fig. 1 muestra la participación de fibra y procedencia para la fabricación de papel en México/2013, (CNICP, 2014).

Papel

En 2013 la producción total de papel decreció 4.4 %. El volumen de la producción fue de 4834 mil toneladas, mientras que en 2012 la producción fue de 4 858 mil toneladas.

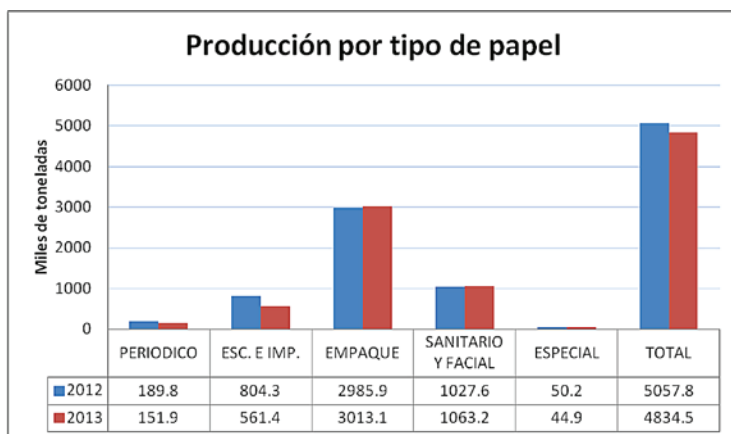


Figura 2. Producción de tipos de papel

Diversos rubros de producción de papel mostraron decrementos, principalmente los rubros de: papel periódico con 24.95 %, escritura e impresión 43.3 % y papeles especiales 11.8 %; mientras que el papel para empaque creció 0.9 % y a su vez el papel sanitario y facial 3.4 %. Datos que se muestran en la fig 2.

En el rubro de las importaciones para papel periódico la fibra se ubicó en 196 mil toneladas, lo cual representa un incremento del 1.8 %, la misma tendencia mostraron el papel para empaque con un 2.5 % y los papeles especiales con el 4 %. Mientras que, los papeles para escritura e impresión, y sanitario disminuyeron 4.7 % y 4.2 % respectivamente, tendencia que se muestra en la fig. 3.

El consumo aparente de papel compuesto por la producción nacional e importación refleja en 2013 un decremento del 2.1 % respecto al 2012.

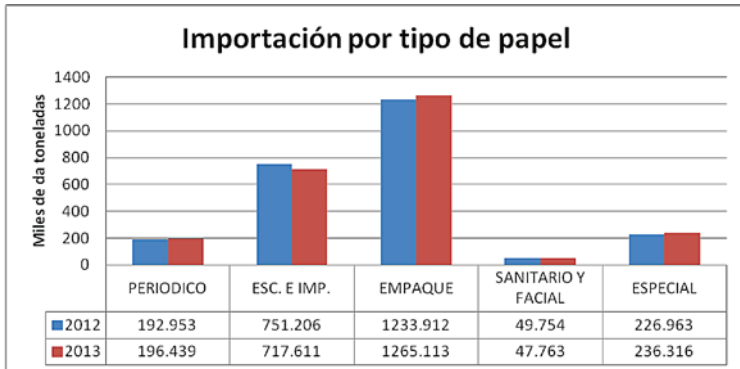


Figura 3. Importación por tipo de papel

Los esfuerzos de la industria nacional en el renglón de competitividad internacional se muestran claramente con el incremento del 10.5 % en materia de exportaciones con relación al 2012. Durante 2013 la industria exportó un total de 207 mil toneladas, partiendo de una base de 187 mil toneladas correspondientes al 2012.

La industria papelera mexicana genera 27 000 empleos directos y participa en 2013 con el 2,9 % en el PIB “Rama 31 Papel y Cartón”, sin embargo es importante mencionar que depende en un 65 % de fibra reciclada como materia prima fibrosa, de esta cantidad se recuperan a nivel nacional del orden de 3642 mil toneladas y se importan 1300 mil toneladas. De fibra virgen se produce en el país 125 mil toneladas y se importan 528 mil toneladas de fibra virgen para producir 4834 mil toneladas de papel, lo cual representa solo el 69 % de papel que el país requiere. Según datos del INEGI la población en México es de 120 millones de habitantes con un consumo per cápita de 65 kg/año, lo cual representa un consumo nacional de 7090 mil toneladas, así el país debe importar 2200 mil toneladas de papel. De la producción nacional se exportan 206 mil toneladas.

La Universidad de Guadalajara es la única universidad en el país que tiene un Departamento para formación de recursos humanos y desarrollo de investigación en Madera, Celulosa y Papel como apoyo a las unidades de la cadena productiva “Recursos forestales, celulosa-papel, artes graficas y empaques agroindustriales” del país desde 1976.

Se forman recursos humanos para realizar actividades de investigación, formación de recursos humanos y en el sector productivo en las empresas vinculadas a la cadena productiva de referencia, se puede mencionar que varios de los egresados actualmente ocupan puestos de decisión en las empresas que laboran ubicadas en el territorio nacional y ahora solicitan egresados de la Universidad de Guadalajara por su formación y motivación en el sector, lo que permite consolidar equipos de trabajo al interior de las entidades productivas.

Respecto a los programas de investigación, se trabaja en:

1. Estudios sobre el potencial fibroso de diferentes especies maderables y no maderables para su utilización en diseño y estructuración de papel con características especiales y su uso industrial.
2. Estudios de reutilización de fibra secundaria, especialmente originado por la limitada existencia de recursos forestales a nivel nacional. La poca existencia de recursos forestales se origina por el abuso en la tala de bosques y la casi inexistente política forestal nacional que permita no solo conservar bosques, sino recuperar las tierras con vocación forestal para ese fin específico, acciones de este tipo permiten generar empleos en el campo, desarrollar el turismo de montaña, que la flora y la fauna del país no se pierda, desarrollar industrias que permitan mayor derrama económica para el campo y la exportación de productos, manteniendo un equilibrio entre plantaciones y aprovechamiento forestales.

*Datos tomados del Informe Anual de la Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, Marzo 2014. México D.F.

XXIII

A INDÚSTRIA DE PASTA E PAPEL EM PORTUGAL

Paulo Ferreira¹, Manuel Delgado²

A indústria Portuguesa de pasta e papel é a mais importante da fileira florestal (madeira, cortiça, resina, mobiliário, construção, pasta, papel) e é das mais fortes, desenvolvidas e sustentáveis no panorama da economia nacional. Na verdade, segundo dados de 2011, o sector representava 8% da produção industrial e 2,5% da produção nacional, 4,9% das exportações do país e 4% do respectivo Produto Interno Bruto, tendo sido Portugal o 8º produtor de pasta e 16º o produtor de papel a nível europeu. Portugal foi o primeiro país a arrancar com a produção de pastas químicas de eucalipto, com uma unidade de pasta pelo sulfito em 1923, à qual se juntou em 1957 uma unidade de pasta pelo sulfato, sendo actualmente o 2º produtor mundial de pastas de eucalipto, atrás do Brasil. Para este cenário tem contribuído fortemente o facto de perto de 35% da área total do país ser coberta por floresta, correspondendo cerca de 8% a floresta de pinho e 9% a floresta de eucalipto.

As espécies predominantemente utilizadas na produção de pasta são o eucalipto *E. globulus* e, em muito menor quantidade, o pinho *P. pinaster* (pinho marítimo).

Os dados, apresentados na Tabela 1 e relativos a 2013, colocam Portugal, a nível mundial, nos 17º e 29º lugares de produção de pasta e de papel, respectivamente, sendo que aproximadamente 60% da pasta e 65% do papel produzidos são exportados. Do total de pasta virgem produzida, sensivelmente 50% é integrada na produção de papel a nível nacional e 50% é vendida em mercado. A pasta produzida com papel reciclado atingiu as $309,2 \times 10^3$ ton, das quais 268×10^3 ton não destinadas, sendo a totalidade integrada na produção de papel.

1. Departamento de Engenharia Química, Universidade de Coimbra – Portugal
2. Consultor - Portugal

Tabela 1. Produção de pasta virgem e de papel (dados de 2013)

	Tipo de produto	× 10⁻³ ton	%
Pasta	Eucalipto	2367,1	93,3
	Pinho	169,5	6,7
	Total	2536,6	100
Pasta	Pasta química ao sulfato branqueada	2367,1	93,3
	Pasta química ao sulfato crua	169,5	6,7
	Total	2536,6	100
Papel	Papeis para usos gráficos (Impressão e escrita, não revestido de pasta química)	1559,8	71,7
	Embalagem e cartão	476,7	21,9
	Tissue	100,5	4,6
	Outros	39,5	1,8
	Total	2176,5	100

Todas as empresas portuguesas produtoras de pasta e as mais importantes empresas produtoras de papel, que respondem por perto de 90% da produção nacional, estão listadas na Tabela 2. Ao todo, no país, existem 6 fábricas de pasta e cerca de 45 fábricas de papel, para além de mais de 100 unidades de reciclagem de papel e cartão usado e de cerca de 60 empresas transformadoras de papel e cartão (cartonagens e gráficas com significativa dimensão). No domínio da plantação, conservação e exploração florestal destacam-se a Portucel Soporcel Florestal – Sociedade de Desenvolvimento Agro-Florestal, SA., e a Altri Florestal, SA. De entre as associações nacionais de apoio ao sector da pasta e do papel são de referir a Celpa – Associação da Indústria Papeleira, a RECI-PAC – Associação Nacional de Recuperação e Reciclagem de Papel e Cartão, ANIPC – Associação Nacional dos Industriais de Papel e Cartão e a Tecnicelpa – Associação Portuguesa dos Técnicos das Industrias de Celulose e Papel.

As mais relevantes empresas do sector encontram-se certificadas nos domínios da qualidade, ambiente e segurança, pelas normas das séries ISO 9000, ISO 14000 e OHSAS 18000. Por sua vez, os seus laboratórios de controlo de processo e de produto estão, na maioria, apetrechados com os mais modernos equipamentos e técnicas de ensaio, estão acreditados pela norma ISO 17025.

Para além de toda a actividade florestal e industrial na área da pasta e papel, existem em Portugal diversos Centros de Investigação e Desenvolvimento, bem como Instituições de Ensino Superior, que trabalham em colaboração com as grandes empresas do sector em projectos de I&D de base científica e tecnológica e que são responsáveis pela formação de um número significativo de quadros especializados. De entre estas instituições destacam-se a Universidade de Aveiro, a Universidade da Beira Interior, a Universidade de Coimbra, o Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, o RAIZ - Instituto de Investigação da Floresta e Papel e o Instituto Politécnico de Tomar.

Tabela 2. Principais empresas portuguesas de produção de pasta e de papel.

Fábrica	Tipo de Produto	Capacidade (ton/ano)*	Localização
Maria Moreira da Silva Ferreira	Reciclados, Especialidades	800	Arada
Domingos José Afonso, Sucrs, Lda	Reciclados, Cartão Compacto	1.200	Perre
Moreira & Gonçalves, Lda	Reciclados, Cartão Compacto	2.000	Raiva - Castelo de Paiva
Papel Especial, Lda	Reciclados, Especialidades	5.000	Aveiro
Fábrica de Papel de Fontes, Lda.	Reciclados, Envelopes	6.000	Serzedo
Fábrica de Papel Ponte Redonda, S.A.	Reciclados	6.000	Silvalde
Fábrica de Papel Torres Novas, Lda	Reciclados, Fluting, Especialidades	8.000	Ribeira Branca
Sociedade Transformadora Papéis Vouga, Lda	Reciclados, Fluting	8.000	São Paio de Oleiros
Fábrica de Papel e Cartão da Zarrinha, S.A.	Reciclados, Fluting	12.000	Paços de Brandão
Natural - Indústria de Papel, S.A	Tissue	12.000	Povolide
Fábrica de Papel da Lapa, Lda	Reciclados, Fluting	15.000	São Paio de Oleiros
Prado Cartolinas da Lousã S.A.	Cartolinas e Especialidades	25.000	Lousã
Cemopol - Celuloses Moldadas Portuguesas, Lda	Celulose Moldada	30.000	Pombal
Fortissue	Tissue	30.000	Viana do Castelo

Fábrica	Tipo de Produto	Capacidade (ton/ano)*	Localização
Prado Kartonboard S.A.	Cartão de Embalagem	35.000	Tomar
Fapajal - Fábrica de Papel do Tojal, S.A.	Tissue, Reciclados	40.000	São Julião do Tojal
Papeleira Portuguesa, S.A.	Reciclados, Cartão p/ Tubos	40.000	São Paio de Oleiros
The Navigator Company - Vila Velha do Rodão	Tissue	60.000	Vila Velha de Ródão
Grupo Altri - Caima	Pasta Solúvel	105.000	Constância
Renova	Tissue	110.000	Torres Novas
Grupo Altri - Celtejo	Pasta de Eucalipto (BHKP)	220.000	Vila Velha de Ródão
Grupo The Navigator Company - Setubal	Papel Impressão e Escrita não revestido	270.000	Setubal
The Navigator Company - Cacia	Pasta de Eucalipto (BHKP)	320.000	Cacia - Aveiro
Europac Viana - Celnorte	Kraft Liner	425.000	Viana do Castelo
The Navigator Company - ATF	Papel Impressão e Escrita não revestido	550.000	Setubal
Grupo Altri - Celbi	Pasta de Eucalipto (BHKP)	700.000	Figueira da Foz
The Navigator Company - Figueira da Foz	Papel Impressão e Escrita não revestido	750.000	Figueira da Foz

* - Dados de 2013

Principais Centros de Investigação e Desenvolvimento:

Instituição:	Universidade de Aveiro (UA)
Nome do centro de pesquisa:	Grupo de Materiais Macromoleculares e Lenhocelulósicos - Departamento de Química e CICECO (Centro de Investigação em Materiais Cerâmicos e Compósitos)
Cidade/estado/pais:	Aveiro - Portugal
Homepage do centro:	http://www.ua.pt/dqua/PageText.aspx?id=5330 ; http://www.ua.pt/dqua/ ; http://www.ciceco.ua.pt/
Instituição:	RAIZ – Instituto de Investigação da Floresta e Papel
Nome do centro de pesquisa:	RAIZ – Instituto de Investigação da Floresta e Papel
Cidade/estado/pais:	Eixo (Aveiro) - Portugal
Homepage do centro:	http://www.raiz-iifp.pt/
Instituição:	Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade de Coimbra (FCT-UC)
Nome do centro de pesquisa:	Departamento de Engenharia Química - Centro de Investigação em Engenharia dos Processos Químicos e dos Produtos da Floresta (CIEPQPF)
Cidade/estado/pais:	Coimbra - Portugal
Homepage do centro:	http://www.uc.pt/fctuc/deq ; www.uc.pt/fctuc/deq/ctiepqpf
Instituição:	Universidade da Beira Interior (UBI)
Nome do centro de pesquisa:	Departamento de Química - Unidade de investigação: Materiais Fibrosos e Tecnologias Ambientais
Cidade/estado/pais:	Covilhã - Portugal
Homepage do centro:	http://webx.ubi.pt/~mtp/
Instituição:	Instituto Politécnico de Tomar - Escola Superior de Tecnologia de Tomar
Nome do centro de pesquisa:	Departamento de Engenharia Química e do Ambiente
Cidade/estado/pais:	Tomar - Portugal
Homepage do centro:	http://www.ipt.pt/ ; http://www.deqa.estt.ipt.pt
Instituição:	Instituto Superior de Agronomia - Universidade de Lisboa (ISA-UL)
Nome do centro de pesquisa:	Centro de Estudos Florestais (CEF)
Homepage do centro:	http://www.isa.ulisboa.pt/en/cef/about

XXIV

PANORAMA DE LA INDUSTRIA DE PULPA Y PAPEL EN VENEZUELA

Gladys Mogollón¹, María C. Area²

Producción Industrial Privada

Venezuela, geográficamente situada al Norte de América del Sur, cuenta actualmente con una población de aproximadamente 30 millones de habitantes ubicada en un territorio de casi un millón de kilómetros cuadrados.

Las empresas productoras de celulosa, papel y cartón de Venezuela se ubican, principalmente, en el centro y centro-occidente del país. En su mayoría se encuentran agrupadas en APROPACA, que es la Asociación Venezolana de Productores de Pulpa, Papel y Cartón, creada con el objetivo de *“velar por los intereses generales de la industria de la Pulpa, Papel y Cartón, así como, del personal ocupado en ella, en armonía con los intereses de la colectividad”*. Las empresas asociadas son:

-
1. Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Responsable del Grupo de Investigación en Celulosa y Papel (GICYP). gladysmb@ula.ve
 2. Programa de Celulosa y Papel (PROCYP). Instituto de Materiales de Misiones (IMAM) UNaM-CONICET. Posadas, Argentina.

Manufacturas de Papel, MANPA C.A. (Maracay, Edo. Aragua).

División Imprimir / Escribir / Embalar

Capacidad de Producción: 110.400 tm/año Imprimir y Embalar; 45.600 tm/año Destintado

Maquinas: 3

Productos: papeles kraft, cartulinas, sacos multipliegos, fondo cosido y fondo cuadrado, papeles register, cuadernos, libretas, resmas, resmillas y formas continuas, papeles para imprimir, escribir, envase y embalaje, bolsas de papel.

Division higienicos

Capacidad de Producción Anual: 58.190 tm/año Tissue

Maquinas Utilizadas: 4

Líneas Convertidoras: 26

Productos: higiénicos baño: clases A, B y C, servilletas, toallas, faciales, bobinas de papel (principalmente para exportación)

<http://www.manpa.com.ve>

Smurfit Kappa

Molino de Cartón y Papel MOCARPEL (San Felipe, Edo. Yaracuy)

Capacidad de Producción: 80.000 tm/año Liner; 52.000 tm/año Corrugado Medio; 35.000 tm/año Pulpa Química Fibra larga (pino); 45.000 tm/año Pulpa Semiquímica Fibra Corta

Máquinas: 1

Productos: papel para tapas corrugadas (liner), papel medio para corrugar (medio).

Cartones Nacional – CARTONAL (Valencia, Edo. Carabobo)

Capacidad de Producción: 65.000 tm/año Cartulinas Industriales

Máquinas: 1

Productos: cartulinas Industriales recubiertas para estuches plegadizos.

Molino Caracas – PETARE (Petare, Edo. Miranda).

Capacidad de Producción: 18.750 tm/año Cartulinas Industriales y especialidades

Máquinas: 1

Productos: papel para tapas corrugado (liner) marrón y blanco, cartones especiales, cartón gris para cajas rígidas y otros usos, cartulinas industriales no recubiertas para estuches plegadizos.

<http://www.smurfitkappa.com/vHome/ve>

Papales Venezolanos, C.A. (Guacara, Edo. Carabobo)

Capacidad Producción: 94.000 tm/año

Maquinas: 7

Productos: papeles tissue (higiénicos, servilletas, toallas, faciales), papeles para envolver.

<http://www.paveca.com.ve/pavecasite/>

Kimberly Clark Venezuela, C.A. (Maracay, Edo. Aragua)

Capacidad Producción: Producción 30.000 tm/año, Conversión 28.800 tm/año

Maquinas: 2 de Producción, 5 de Conversión.

Productos: papeles tissue: higiénicos, envolturas de pañal, servilletas, faciales, toallas.

<http://www.kimberly-clark.com>

Le Cartiere (Charallave, Edo. Miranda)

Capacidad de producción: 1200 tm/año

Maquinas: 3 líneas de Producción

Productos: papel artístico: para: artes plásticas, serigrafía, litografía, etc.

Papel seguridad: para chequeras personalizadas con marca de agua, papel sellado, para acciones, bonos quirografarios, títulos, timbres fiscales, papeles especiales y de lujo, etc., todos personalizados con marca de agua. Papeles para restauraciones, encuadraciones, etc.

<http://www.lecartiere.com/>

Empresas propiedad del Estado Venezolano

Empresa Básica de Pulpa y Papel C.A. (PULPACA)

Empresa Básica de Pulpa y Papel C.A. (PULPACA) se encuentra dentro de los planes de desarrollo de Venezuela, para el aprovechamiento integral de las plantaciones de pino Caribe, agregar valor a esta materia prima y contribuir con el desarrollo del país. El proyecto se encuentra ubicado en el Oriente del país, específicamente en la zona del Municipio Independencia del Estado Anzoátegui en el centro poblado Macapaima, riberas del Rio Orinoco. El futuro complejo industrial de pulpa y papel, propiedad del Estado Venezolano, incluirá: una línea de producción de pasta mecánica y papel prensa, con una capacidad instalada de 250.000 t/año, una línea de producción de pasta química blanqueada para 200.000 t/año, una línea de producción de TOFA y lignosulfonatos de 2500 t/año de TOFA y 30.000 t/año de lignosulfonatos.
<http://www.pulpaca.info.ve>

INVEPAL

En el Km 10 de la carretera Morón-Coro, se encuentra situada la empresa INVEPAL, antiguo Venepal y ahora propiedad del Estado Venezolano. INVEPAL es una *“empresa de propiedad social, que fabrica, convierte y comercializa papel de calidad para satisfacer las necesidades del pueblo, enmarcada en la construcción del nuevo modelo socio productivo.....”*

Posee 5 máquinas de papel y 4 máquinas convertidoras.

Produce como productos intermedios: papel bond de impresión y escritura, papel marrón de envoltura, cartón liner y corrugado medio, papel para sacos, y cartulina recubierta.

Produce como productos finales: resmas para impresión y fotocopiado, cuadernos, libretas, blocks, resmas de papel estucado para litografía, bolsas de papel y cajas de cartón corrugado.

www.invepal.com.ve

Producción y consumo de pulpas, papeles y cartones

El país no está exento de los problemas asociados a la crisis económica mundial, por esta razón se puede observar en las tablas 1 a 3, que se presentan a continuación, la forma en que ha variado la producción y el consumo de pulpas, papeles, cartones y papel recuperado en el período 2001-2011 (Fuente APROPACA).

Tabla 1. Consumo aparente de pulpa t.m.

TIPOS DE PULPA	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1. MECANICA	0,00%	0,00%	0,00%	19,33%	23,38%	17,96%	16,97%	23,36%	22,01%	18,54%	28,40%
2. QUIMICO - TERMO MECANICA	24,94%	18,47%	39,65%	11,53%	11,79%	3,89%	32,41%	19,26%	3,97%	2,63%	1,99%
3. QUIMICA FIBRA CORTA	48,79%	52,50%	20,36%	52,38%	22,83%	27,60%	18,81%	20,43%	23,52%	26,66%	21,82%
4. QUIMICA FIBRA LARGA	26,27%	29,03%	39,99%	16,76%	42,00%	50,55%	31,81%	36,96%	50,51%	52,17%	47,79%
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
TOTALES	206.531	95.702	102.488	234.662	185.726	199.946	206.693	134.173	102.355	88.812	112.010
% PRODUCCION NACIONAL	85,39%	96,24%	93,65%	46,14%	58,07%	47,04%	61,43%	58,63%	48,03%	44,48%	53,82%
% IMPORTACION	14,61%	3,76%	6,35%	53,86%	41,93%	52,96%	38,57%	41,37%	51,97%	55,52%	46,18%

Tabla 2. Consumo aparente de papeles, cartulinas y cartones t.m.

TIPOS DE PAPEL O CARTON	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1. PAPEL PRENSA	19,72%	7,49%	16,20%	13,46%	9,48%	16,30%	15,22%	13,04%	13,03%	13,05%	5,65%
2. IMPRIMIR Y ESCRIBIR	12,30%	20,19%	16,20%	17,40%	14,02%	17,63%	18,25%	14,01%	13,83%	14,77%	13,78%
3. KRAFT LINER	8,02%	3,74%	14,39%	13,38%	14,98%	14,40%	13,72%	17,49%	17,67%	16,76%	22,50%
4. CORRUGADO MEDIO	6,02%	5,53%	17,04%	8,66%	10,05%	5,51%	5,27%	8,09%	8,33%	8,47%	10,75%
5. TISSUE	27,15%	25,22%	17,52%	20,20%	27,92%	22,51%	22,38%	20,24%	22,41%	22,33%	21,69%
6. ENVASES Y ENVOLTURAS	5,76%	6,58%	5,05%	4,89%	5,05%	3,95%	1,72%	1,71%	1,88%	1,85%	2,07%
7. CARTULINAS INDUSTRIALES	16,22%	16,14%	9,90%	21,31%	17,10%	19,09%	22,45%	24,31%	21,76%	22,13%	22,81%
8. PARA CIGARRILLO	0,21%	0,43%	0,19%	0,21%	0,23%	0,16%	0,10%	0,13%	0,10%	0,08%	0,10%
9. OTROS	4,60%	14,67%	3,50%	0,49%	1,17%	0,44%	0,89%	0,98%	1,00%	0,56%	0,64%
TOTALES	609.964	494.560	496.022	698.880	559.707	838.845	962.927	1.106.720	1.045.736	818.757	787.373
% PRODUCCION NACIONAL	59,51%	36,84%	60,90%	62,88%	65,10%	52,61%	49,52%	56,55%	56,72%	56,72%	70,70%
% IMPORTACION	40,49%	63,16%	39,10%	37,12%	34,90%	47,39%	50,48%	43,45%	43,28%	43,28%	29,30%

Tabla 3. Consumo aparente de fibras reciclables t.m.

GRUPO	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1. CARTULINAS	5,35%	5,24%	4,81%	10,59%	6,55%	5,51%	5,46%	6,71%	22,64%	5,36%	6,48%
2. BLANCO Y ARCHIVO	34,63%	37,88%	31,95%	34,89%	37,88%	33,96%	31,57%	23,69%	23,90%	14,16%	16,63%
3. KRAFT	1,28%	1,08%	1,18%	0,57%	0,64%	0,57%	1,53%	1,19%	1,77%	0,44%	0,60%
4. PERIODICOS Y REVISTAS	6,24%	10,30%	7,19%	9,90%	9,03%	8,89%	10,46%	7,22%	6,00%	6,62%	6,36%
5. CARTON CORRUGADO	44,34%	41,06%	50,14%	39,94%	41,53%	45,68%	45,71%	56,75%	41,12%	69,37%	67,12%
6. PAPEL MEZCLADO	6,82%	1,11%	1,29%	1,76%	1,69%	1,58%	1,05%	0,85%	1,08%	0,89%	1,30%
7. TISSUE	1,33%	3,32%	3,44%	2,35%	2,67%	3,80%	4,22%	3,60%	3,49%	3,17%	1,51%
TOTAL	316.668	292.480	201.511	320.553	298.811	316.166	314.222	427.244	422.434	416.199	383.991
% RECUPERACION NACIONAL	69,59%	73,26%	74,30%	65,80%	73,48%	74,54%	75,31%	70,64%	69,52%	60,74%	63,93%
% IMPORTACION	30,41%	26,74%	25,70%	34,20%	26,52%	25,46%	24,69%	29,36%	30,48%	39,26%	36,07%

Investigación y Docencia

Universidad de Los Andes (Mérida)

La investigación y docencia en el área de celulosa y papel se desarrolla, principalmente, en la Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales-Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF), en la ciudad de Mérida.

En la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, existe el Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado (CEFAP), institución adscrita académicamente al Consejo de Estudios de Postgrado de la Universidad de Los Andes, el cual ofrece programas formales de cuarto nivel en materia forestal y ambiental, tales como, Maestría en Manejo de Bosques, Tecnología de Productos Forestales (incluye el área de enseñanza en celulosa y papel), Manejo de Cuencas y Ordenación del Territorio y Ambiente.

La Maestría en Tecnología de Productos Forestales es el máximo grado ofrecido en Venezuela en esta especialidad. Tiene por objetivo la formación

de recursos humanos orientados al dominio de aspectos tecnológicos apoyado en bases científicas, en las áreas relacionadas con productos forestales. Este programa se caracteriza por un enfoque formativo, propiciando en el alumno el desarrollo de su capacidad creativa y metodológica para organizar y emprender proyectos de investigación científica y desarrollo tecnológico, así como para difundir conocimientos y formar recursos humanos en los diferentes niveles de su quehacer profesional.

La Maestría en Tecnología de Productos Forestales viene a contribuir con el desarrollo y crecimiento de los servicios y asesoría en los procesos de transformación de la industria de la madera. El desarrollo forestal requiere tecnólogos que desarrollen y fomenten un uso más racional y diversificado de las especies forestales que se encuentran tanto en bosques naturales como en plantaciones.

El CEFAP también ofrece el Doctorado en Ciencias Forestales y Ambientales, el cual es un curso de naturaleza tutorial de formación individualizada y dirigida, que tiene como objetivo principal la formación de personal científico en las Ciencias Forestales, Ambientales y afines, que sea capaz de desarrollar proyectos de investigaciones originales, de manera autónoma.

El Programa de Doctorado tiene como justificación esencial, crear personal altamente calificado, que sea capaz de generar, autónomamente, nuevos grupos de trabajo y nuevas líneas de investigación o ampliar los grupos existentes y profundizar las líneas de desarrollo científico en el área Forestal, Ambiental y en aquellas ciencias afines que requiere el país para alcanzar un desarrollo sustentable (Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales-Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF), en la ciudad de Mérida (<http://www.forest.ula.ve/cefap/index.php>))

Universidad Nacional Experimental de Guayana (Guayana)

También en Venezuela se imparte docencia en este campo de la ciencia, en la Universidad Nacional Experimental de Guayana, como parte del *pensum* de estudios de la Carrera de Ingeniería en Industrias Forestales, institución ubicada en Upata, al Sur-Oriente del país. El programa es de seis semestres para la formación de Tecnólogos en Industrias Forestales y con un lapso adicional de cuatro semestres se otorga el grado de Ingeniero en la misma especialidad (<http://site.uneg.edu.ve/academia/htmls/?p=academia/pregrado/carreras/forestal.html>).

Fuentes de información

Asociación Venezolana de Productores de Pulpa, Papel y Cartón,
<http://www.apropaca.com.ve/>

Empresa Básica de Pulpa y Papel C.A. (PULPACA),
<http://www.pulpaca.info.ve>

INVEPAL,
www.invepal.com.ve

Ingeniería en Industrias Forestales, Universidad Nacional Experimental de Guayana,
<http://site.uneg.edu.ve/academia/htmls/?p=academia/pregrado/carreras/forestal.html>

Kimberly Clark Venezuela, C.A., <http://www.kimberly-clark.com>

Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF), Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes,
<http://www.forest.ula.ve/>

Le Cartiere,
<http://www.lecartiere.com/>

Manufacturas de Papel, MANPA C.A.,
<http://www.manpa.com.ve>

Papales Venezolanos, C.A.,
<http://www.paveca.com.ve/pavecasite/>

Smurfit Kappa,
<http://www.smurfitkappa.com/vHome/ve>

XXV

LA INDUSTRIA DE PULPA Y PAPEL EN URUGUAY

María Noel Cabrera; Leonardo Clavijo¹; Javier Doldán

1. Descripción general del país:

La República Oriental del Uruguay se sitúa en la parte oriental del Cono Sur americano. Limita al noreste con Brasil -estado de Río Grande del Sur- al oeste con Argentina -provincias de Entre Ríos y Corrientes- y tiene costas en el océano Atlántico al sureste y sobre el Río de la Plata al sur. Su superficie terrestre es de 176.000 km² y 137.567 km² de aguas jurisdiccionales. La población de Uruguay de acuerdo a datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), censo de 2011, es de 3,29 millones de habitantes, de los cuales el 94,7% vive en el medio urbano y el 53% reside en Montevideo (capital del país) y su área metropolitana. Es una República Democrática, presidencialista con dos cámaras legislativas: Cámara de Senadores y la Cámara de Representantes (Diputados). Está dividida en 19 Departamentos y 89 municipios.

Respecto a su economía, Uruguay creció a una tasa promedio anual de 5,7% entre 2004 y 2013, lo que lo sitúa como uno de los países con mayor crecimiento de la región. El PBI per cápita de 2013 fue de U\$D 16.421, siendo el tercero de Sudamérica. La inversión extranjera ha alcanzado niveles récord, lo que permitió que Uruguay se posicione como el segundo país con mayor recepción de inversiones extranjeras directas en 2013 en América del Sur (5 % en términos del PBI). Uruguay pasó en los últimos años de ser un país netamente ganadero a ser agrícola, ganadero y forestal. Los principales productos exportados en 2013 (en orden de millones de dólares exportados) fueron: soja, carne bovina, cereales, lácteos y pulpa de celulosa.

1. Instituto de Ing. Química – Facultad de Ingeniería – Universidad de la República
2. Laboratorio Tecnológico del Uruguay: LATU

2. Sector Forestal:

En la década de los 60 se votó la primera ley forestal (N° 13.723, diciembre de 1968), con la cual se impulsaba la forestación con especies exóticas de crecimiento rápido para abastecer de madera al mercado interno. A causa de ésta, surgieron proyectos forestales pioneros como el de la Caja de Jubilaciones y Pensiones Bancarias, la Caja Notarial de Jubilaciones y Pensiones, etc. De todas formas, el alcance de la ley fue escaso.

A fines de la década de los ochenta se aprobó una nueva ley Forestal (N° 15.939, diciembre de 1987), que tuvo como objetivo conservar el bosque nativo existente y fomentar el desarrollo del bosque de alto rendimiento a través de la plantación de especies de rápido crecimiento. Esta ley, aprobada por la unanimidad de las fuerzas políticas parlamentarias, es la principal referencia legal de la política forestal uruguaya hasta hoy y, si bien ha sufrido modificaciones relevantes, constituye el eje del marco legal para la promoción del sector. Esta ley impulsa el manejo forestal sostenible a partir de la defensa, el mejoramiento, la ampliación y la creación de recursos forestales, mediante diversos mecanismos de promoción. La Ley Forestal 15.939 y sus decretos reglamentarios indican que para acceder a los beneficios otorgados por la misma, las plantaciones forestales deben contar con un proyecto aprobado por la Dirección General Forestal (organismo dependiente del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca) enmarcado dentro de los lineamientos técnicos establecidos por dicha dirección.

Define como “terrenos forestales” aquellos que, arbolados o no:

- a) por sus condiciones de suelo, aptitud, clima, ubicación y demás características, sean inadecuados para cualquier otra explotación o destino de carácter permanente y provechoso.
- b) sean calificados como de prioridad forestal mediante resolución del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, en función de la aptitud forestal del suelo, o razones de utilidad pública. En este último caso, se comunicará a la Asamblea General.

Hasta 1988 la masa forestal de alto rendimiento en Uruguay era muy escasa, limitándose a 31.000 hectáreas plantadas. A comienzos de los 90, el sector forestal era poco relevante en la economía del país y representaba el 2,3% del PBI, considerando los servicios conexos. En esos años, las

exportaciones forestales no superaban el 2% del total exportado por el país y el saldo de comercio de productos forestales era negativo en más de 20 millones de dólares. Durante el período previo a la ley Forestal, en la década del 80, sólo se exportó papel en un volumen aproximado de 10 toneladas, lo que equivalía al 17% de la producción papelería nacional del momento.

El primer impacto del nuevo marco legal y normativo se dio en la superficie dedicada a la implantación de bosques bajo el régimen promocional. En el primer quinquenio anterior a la puesta en práctica de la ley de promoción (1987), la forestación fue de 12.000 há, mientras que en el quinquenio posterior fue de 98.000 há. Actualmente, el sector forestal uruguayo ocupa un área de alrededor 1.720.000 há, de las que cerca de 1 millón corresponde a plantaciones de bosques de alto rendimiento y 752.000 há a bosque nativo. El 70% de las plantaciones forestales de alto rendimiento del país corresponde al género *Eucalyptus*, le sigue el género *Pinus* con el 28% del área, y un 1% a la familia de las salicáceas.

La figura 1 muestra la distribución las áreas actualmente forestadas. La Dirección General Forestal divide al país en tres regiones de acuerdo al tipo de suelo y el clima. La región Sur-Este se caracteriza por no tener temperaturas extremas, adaptándose mejor especies como *Eucalyptus globulus*. La principal finalidad de estas plantaciones es la producción de celulosa en el país, así como la exportación de madera en chips, dada su cercanía al puerto de Montevideo. La región Centro-Norte es la zona con mayor forestación, encontrándose allí el 46% de los bosques plantados. Se caracteriza por temperaturas más extremas y por suelos predominantemente arenosos, desarrollándose especies como *Eucalyptus grandis* y *Pinus*. El principal destino de la producción de madera es la transformación mecánica, existiendo en esta zona varios aserraderos, dos fábricas de contrachapado y una de producción de MDF. La región Litoral-Oeste se caracteriza por la ocurrencia de heladas, siendo los suelos franco-arenosos y arenosos. Coexisten plantaciones de diferentes especies de salicáceas, *Eucalyptus (grandis, globulus y dunnii)* fundamentalmente) y *Pinus* (principalmente *taeda* y *elliottii*). El principal destino de la madera es la producción de celulosa y en segundo lugar las industrias de transformación mecánica.

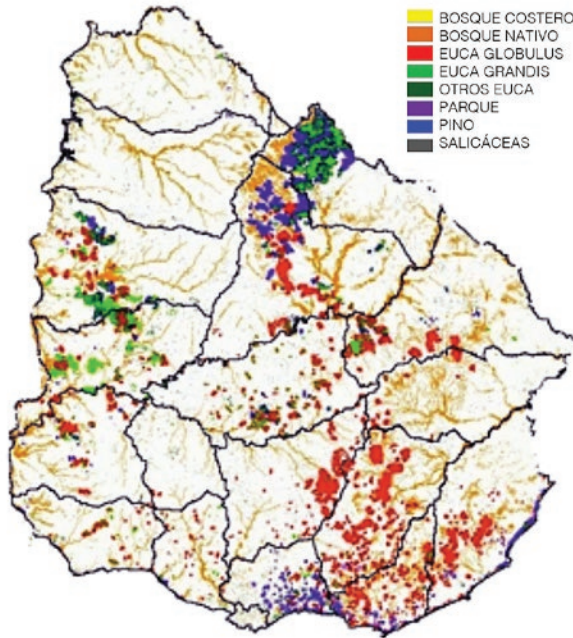


Figura 1: Superficie forestada en el territorio uruguayo por especie.

Fuente: Dirección General Forestal. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca

El PBI de la fase primaria (silvicultura, extracción de madera y servicios conexos) del sector ha mostrado una trayectoria creciente con una tasa promedio de crecimiento de 4,8% anual entre 2004 y 2013, como puede observarse en la figura 2(a). El PBI del sector industrial forestal ha crecido fuertemente sobre todo luego del comienzo de la producción de la planta de celulosa ubicada en el departamento de Río Negro a fines de 2007 pasando de 1,3% en los primeros años del 2000 a casi 3% en los últimos años (figura 2(b)). En 2013 las exportaciones del sector forestal (madera, celulosa y papel) representaron el 10% del total de las exportaciones del país, y este valor se incrementará en 840 millones de dólares cuando la planta de celulosa del departamento de Colonia (que recientemente comenzó su producción, junio 2014) alcance su capacidad productiva nominal (ver figura 3)

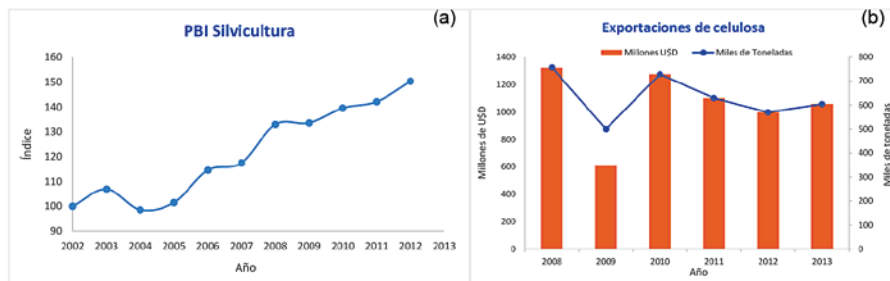


Figura 2: (a) PBI silvicultura, extracción de madera y servicios conexos (Índice 2002 = 100); (b) Exportaciones de celulosa en millones de USD y en miles de toneladas. Fuente Uruguay XXI

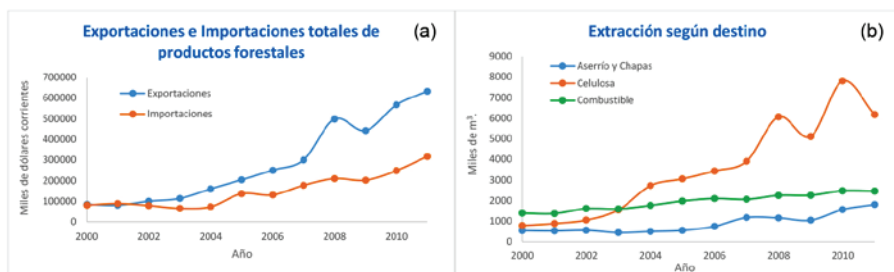


Figura 3: (a) Exportaciones e importaciones de productos Forestales, en miles de dólares corrientes. Fuente Dirección General Forestal. (b) Exportaciones de según destino en miles de metros cúbicos. Fuente: Dirección General Forestal.

De acuerdo a datos proporcionados por el Banco de Previsión Social, que se muestran en la tabla 1, el personal ocupado en el sector alcanza a más de 16.500 trabajadores, cifra que no incluye los empleos indirectos que genera el sector (actividades de transporte y logística, así como servicios conexos).

Tabla 1: Puestos de trabajo en las diferentes actividades del sector forestal. Fuente: Uruguay XXI

Forestación y extracción de madera	8.901
Producción de productos de madera	4.853
Fabricación de papel y de los productor de papel (incluye celulosa)	2.825
TOTAL	16.579

3. Plantas de producción de celulosa y papel.

3.1. UPM – Fray Bentos

La fábrica de pulpa de celulosa ubicada en el departamento de Río Negro, inició sus operaciones el 10 de noviembre de 2007 bajo la firma Botnia S.A. Se encuentra en la ribera del Río Uruguay, a 4 kilómetros al este de la ciudad de Fray Bentos. El proyecto constituyó la mayor inversión de carácter industrial en la historia de Uruguay hasta esa fecha, siendo de 1.200 millones de dólares. En noviembre de 2009 Metsa-Botnia vende sus operaciones en Uruguay a la firma UPM, siendo ésta la primera planta de UPM fuera de Finlandia.

La planta tiene una capacidad de producción autorizada de 1.360.000 toneladas de celulosa blanqueada de fibra corta de Eucalipto al año. La celulosa se envía en barcas desde la fábrica hasta el puerto de aguas profundas de Nueva Palmira para su carga en buques trasatlánticos con rumbo a Europa y Asia.

UPM Forestal Oriental proporciona la madera (Eucalipto) y cerca del 70% de la materia prima proviene de sus propios bosques los cuales tienen certificación Forest Stewardship Council (FSC).

La planta recibe la madera previamente descortezada en las plantaciones, con un consumo de $4.000.000 \text{ m}^3_{\text{sub}}/\text{año}$. Posee dos líneas de descortezado (donde se retira la corteza remanente) y chipeco, de $330 \text{ m}^3_{\text{sub}}/\text{h}$ de capacidad cada una, y el screening es giratorio. La cocción se realiza en un digestor Lo-Solids, con impregnación separada del digestor. El proceso de deslignificación con oxígeno es de dos etapas, y la depuración y separación de nudos se realiza luego de éste. La secuencia de blanqueo es ECF del tipo (A/D)(E_{Op})DP. El desempeño ambiental de la planta implica un continuo control de los efluentes vertidos al río, como también de las emisiones al aire, entre otros controles. Este control es efectuado tanto por la empresa, como por el Laboratorio Tecnológico del Uruguay, ya que los instrumentos de medición envían los resultados a ambas partes de forma simultánea.

La planta aplica las mejores técnicas disponibles, siguiendo los estándares de la Unión Europea (IPCC-BAT).

UPM tiene una generación eléctrica promedio mensual de 150 MW, de los cuales 50 MW son vertidos a la red eléctrica nacional.

En el sitio trabajan diariamente 800 personas, donde 300 trabajan directamente en UPM. Dentro del sitio también se encuentran las empresas Andritz, Kemira y Praxair. Los empleos indirectos generados por la planta son de 3.400.

3. Metros cúbicos sólidos sin corteza.

3.2. Montes del Plata

Montes del Plata es una empresa forestal fundada en Uruguay en el año 2009, propiedad de la chilena Arauco y la sueco-finlandesa Stora-Enso. Se ubica próxima a la ciudad de Conchillas, en el departamento de Colonia, en la ribera del Río de la Plata. El proyecto es la mayor inversión privada en la historia del país, con un valor de más de 2.000 millones de dólares.

Este Complejo Industrial comprende:

- Una planta de producción de celulosa de última generación.
- Una unidad generadora de energía a partir de biomasa.
- Una terminal portuaria para la exportación de celulosa y el ingreso de insumos.

La planta de producción de celulosa tiene una capacidad de producción nominal de 1.300.000 toneladas de celulosa blanqueada de fibra corta de Eucalipto al año, siendo el consumo de madera anual estimado de 4.600.000 m³_{sub}/año, el cual proviene en su mayoría de plantaciones forestales de la empresa, distribuidas en 11 de los 19 departamentos del país. La producción comenzó en Junio de 2014.

El descortezado de la madera es realizado en las plantaciones. La madera descortezada es transportada hasta la planta por intermedio de barcazas fluviales y camiones. El descortezado final se realiza en planta con descortezadores de tornillo, del tipo Rotabarker. Presenta dos líneas de chipeo, las cuales pueden procesar simultáneamente dos especies de madera distintas. El screening es por inyección de aire (JetScreen).

La cocción se realiza en un digestor continuo de cocción extendida. El proceso de deslignificación con oxígeno es de dos etapas, y la depuración y separación de nudos se realiza luego del mismo. La secuencia de blanqueo es ECF del tipo D_{HT}(E_p)DP y dispone de dos líneas para el secado de la celulosa producida.

El tratamiento de efluentes es un tratamiento secundario aerobio con sistema de lodos activados.

La planta aplica las mejores técnicas disponibles, siguiendo los estándares de la Unión Europea (IPCC-BAT)

Montes del Plata tiene una generación eléctrica promedio mensual de 160 MW, de los cuales 75 MW son vertidos a la red eléctrica nacional.

El complejo industrial cuenta con una terminal portuaria con conexión al Canal Martín García, a través de la cual es posible exportar la celulosa hacia sus destinos finales. La terminal consta de dos muelles: uno para barcazas, que hace posible la recepción de madera rolliza y otro para embarcaciones oceánicas, que permite el suministro de insumos y la carga de celulosa para su exportación.

En el sitio trabajan diariamente 450 personas, y los empleos indirectos generados por la planta son alrededor de 4.000.

3.3. IPUSA

IPUSA es una planta ubicada en la ciudad de Pando, a 30 km de Montevideo, fundada en 1934 y dedicada a la fabricación de papel Tissue. Fue adquirida por Holding CMPC en 1994. La planta tiene 2 máquinas papeleras, líneas de conversión de rollos, conversión de servilletas y conversión de productos de consumo institucional. Además cuenta con 3 máquinas de productos sanitarios, pañales descartables de niños y toallas femeninas. Emplea a 250 personas.

3.4. FANAPEL (Fábrica Nacional de Papel S.A.)

La empresa FANAPEL es una fábrica integrada de producción de celulosa y de papel, que comenzó su producción en 1898 en la ciudad de Juan Lacaze, en el departamento de Colonia. La fábrica inició su actividad con una producción que oscilaba entre los 4.000 y 5.000 kilos de papel por día, suministrando trabajo a unas 150 personas.

En mayo de 2007 el Grupo Tapebicuá, grupo foresto-industrial con operaciones en Argentina y Uruguay, adquirió el 97,6% de las acciones de FANAPEL. Este grupo invirtió en la mejora del proceso productivo para pasar de una tecnología de blanqueo con cloro elemental, a un sistema TCF (totalmente libre de cloro), optándose por esta tecnología por un tema de escala.

La empresa cuenta con 7.000 há plantadas, cubriendo el 70% de sus necesidades de madera. La empresa produce 38.000 toneladas de celulosa al año, la cual utiliza para la producción de papel.

3.5. PAMER (Papelería Mercedes S.A.)

La empresa Pamer fue fundada en 1937 y se dedica a la fabricación de envases de cartón corrugado y tissue. Cuenta con 1500 há forestadas, las que utiliza para la producción de energía y no para hacer pulpa. La principal fuente de materia prima es el papel reciclado, siendo el principal consumidor de fibras recicladas provenientes de papel y cartón. La empresa emplea unas 250 personas y su producción se vuelca al mercado interno.

3.6. CICSSA (Compañía Industrial Comercial del Sur S.A.)

CICSSA fue fundada en 1950, y se dedicaba a la producción de papeles, bolsas multipliego y envases de cartón corrugado. En los últimos años se ha concentrado en la fabricación de productos de cartón corrugado. En el año 2000 la empresa fue adquirida por el grupo MUSTAD de origen Noruego.

4. Enseñanza, investigación y servicios.

4.1. Carreras de grado

4.1.1. Ingeniero Agrónomo – orientación forestal

El Ingeniero Agrónomo es el profesional universitario preparado para comprender, manejar, mejorar y transformar sistemas de producción agropecuarios con el objeto de servir al bienestar social y al desarrollo nacional sostenido. Esta carrera se dicta en la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República.

El Departamento Forestal de la Facultad de Agronomía, creado en 1959, comenzó funcionar en 1963. Derivó de una necesidad impostergable para concentrar los esfuerzos en esta rama de enseñanza, ya que hasta ese momento el área forestal era encarada como una rama complementaria dentro del programa curricular del Ingeniero Agrónomo. A partir de esa fecha, nace dentro de la currícula del Ingeniero Agrónomo la Orientación Forestal, permitiendo al futuro técnico hacer una clara diferenciación entre lo que es el área forestal, el área granjera y el área agrícola ganadera con un marcado énfasis en este rubro productivo.

El Departamento Forestal de la Facultad de Agronomía tiene por cometido la formación de recursos humanos, la investigación científica y la extensión en las ciencias forestales. La enseñanza teórica se lleva a cabo fundamentalmente en Montevideo y la práctica se realiza en las principales zonas de producción forestal del país, con la colaboración de productores y empresas agro-industriales así como también en la Estación Experimental de Bañado de Medina, Cerro Largo.

Áreas temáticas:

- Dendrología
- Manejo y Ordenamiento forestal
- Cosecha y economía forestal
- Silvicultura
- Aserrado
- Sistemas agroforestales
- Tecnología de la madera
- Dasometría e Inventarios Forestales
- Paisajismo
- Planificación de áreas silvestres
- Pulpa y Papel

Contacto: Facultad de Agronomía de la Universidad de la República (www.fagro.edu.uy). Departamento de Producción Forestal y Tecnología de la Madera. Avda. Eugenio Garzón 780, C.P. 12900, Tel. (+598) 2359 9563, forestal@fagro.edu.uy. Montevideo – Uruguay.

4.1.2. Ingeniero Forestal:

Es una carrera de grado dictada en el Centro Universitario de Tacuarembó, en conjunto por las Facultades de Ingeniería, Agronomía y Química de la Universidad de la República, siendo la Facultad de Ingeniería el referente académico. Tiene por objetivo formar profesionales con sólido dominio de las ciencias básicas necesarias para entender la formación de los productos forestales a partir de organismos vivos y su posterior procesamiento industrial de forma eficiente. Presenta una duración de 10 semestres.

El egresado de esta carrera presentará:

- Sólida formación en ciencias básicas.
- Profundo conocimiento del funcionamiento de las plantas como organismos vivos, métodos y técnicas de implantación silvicultural y el funcionamiento de los ecosistemas forestales y terrestres.
- Amplio conocimiento de los procesos de elaboración y transformación industrial de productos de origen forestal incluyendo el conocimiento de máquinas y equipos utilizados en operaciones forestales dentro de los criterios de racionalidad operacional y de bajo impacto sobre el ambiente.
- Capacidad para intervenir en los recursos naturales a través del manejo adecuado a cada situación tecnológica, socio-económica, ambiental y cultural tanto en gestión pública, como en política forestal y en el ámbito privado.
- Capacidad para la generación de innovaciones a través de la investigación que permitan la resolución de problemas concretos.
- Capacidad de trabajo en equipos interdisciplinarios, teniendo en cuenta que cada día se hace más necesaria la acción conjunta de las diferentes especialidades que estudian los ecosistemas naturales, en particular aquellos de los que el bosque forma parte

Contacto: Centro Universitario Tacuarembó de la Universidad de la República (www.cci.edu.uy). Joaquín Suárez 215, Tel. (+598) 4632 3911. Tacuarembó – Uruguay.

4.2. Carreras de posgrado

4.2.1. Maestría en Ingeniería de Celulosa y Papel

La Maestría en Ingeniería de Celulosa y Papel, es un programa de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, que se dicta en cooperación con la Universidad Aalto de Finlandia, desde 2007. Tiene por objetivo atender la necesidad de complementar y profundizar la formación técnica, apoyada en una sólida base científica, de los profesionales en el área de la producción de celulosa y papel, logrando una mayor especialización que la que brindan actualmente los cursos de grado.

Se busca formar profesionales que integren los recursos humanos capaces de afrontar y resolver con solvencia y creatividad las necesidades de la sociedad uruguaya en esta área, ya sea mediante su participación activa en tareas de investigación y desarrollo científico y tecnológico, como en el ejercicio innovador de su actividad profesional, con especial énfasis en la sustentabilidad ambiental de los procesos.

El egresado adquirirá una formación superior en el área de Ingeniería de Celulosa y Papel, que lo capacitará para:

- Abordar nuevos temas y tecnologías con profundidad y solvencia empleando los elementos metodológicos adquiridos en su formación, en el ejercicio profesional o en actividades académicas de investigación y desarrollo.
- Abordar de manera crítica la bibliografía internacional actualizada en el tema elegido y de acompañar el desarrollo del área, debiendo alcanzar durante el desarrollo de sus estudios de posgrado el estado del arte en la especialidad escogida.
- Manejar con solvencia los criterios técnicos para la evaluación, selección y/o aplicación de tecnologías ambientalmente sustentables para la fabricación de celulosa y papel.

Contacto: Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (www.fing.edu.uy/iiq/maestrias/icp). Grupo de Ingeniería de Procesos Forestales. Avda. Julio Herrera y Reissig 565, Tel. (+598) 2712 2620 int. 105, forestales@fing.edu.uy. Montevideo – Uruguay.

4.2.2. Maestría profesional en ciencias agrarias: Opción gestión forestal sostenible

El fuerte desarrollo del sector forestal generó una nueva necesidad y desafío para el Departamento de Producción Forestal y Tecnología de la Madera de la Facultad de Agronomía: brindar las herramientas al nuevo profesional que exigen las empresas forestales en el marco de la gestión forestal sostenible.

En este contexto es que surge la opción de “Gestión Forestal Sostenible” dentro de la Maestría Profesional de Ciencias Agrarias. La propuesta de maestría abarca 21 cursos específicos, los cuales son dictados por docentes del departamento mencionado, de otras facultades de la UdelAR (Facultad de Ingeniería), instituciones de investigación (PEDECIBA e INIA) y de Universidades extranjeras.

Contacto: Facultad de Agronomía de la Universidad de la República (www.fagro.edu.uy). Departamento de Producción Forestal y Tecnología de la Madera. Avda. Eugenio Garzón 780, C.P. 12900, Tel. (+598) 2359 9563, forestal@fagro.edu.uy. Montevideo – Uruguay.

4.3. Investigación

4.3.1. Grupo de Ingeniería de Procesos Forestales

Frente al desarrollo a nivel nacional que está adquiriendo el área forestal y todas las industrias relacionadas a la misma, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, consideró de gran interés encarar la formación de recursos humanos nacionales a nivel profesional y académico y desarrollar el área de conocimiento con la formación de un grupo de investigadores que iniciara el desarrollo de la investigación a nivel nacional en la temática de producción de celulosa y papel, continuando luego con productos de madera sólida, biorefinerías, etc., hasta abarcar toda el área de procesamiento de productos forestales. Con este objetivo, el primer paso fue el establecimiento de un programa de enseñanza de posgrado que permitiera formar profesionales uruguayos especializados, con capacidad de atender las demandas de este sector productivo nacional.

En agosto de 2007 comienza el dictado de la Maestría en Ingeniería de Celulosa y Papel, en colaboración con la Universidad Tecnológica de Helsinki (hoy Universidad Aalto). A partir de este desarrollo, se crea formalmente en Abril de 2010 el grupo de Ingeniería de Procesos Forestales.

Los problemas de investigación y desarrollo que se abordan y se buscan resolver son:

- La mejora de procesos y productos mediante el estudio de los factores controlantes, modelado, optimización y rediseño de procesos industriales de producción y de conservación de productos.
- El desarrollo de procesos para producción de productos de especial interés desde el punto de vista de la producción nacional.

Se apunta en particular a procesos de producción de celulosa, papel, madera, productos químicos y otros productos derivados de materia prima forestal, como foco temático para el desarrollo de las actividades de formación de RRHH, investigación, docencia, extensión y transferencia de los conocimientos adquiridos y creados a través de actividades del grupo.

Las líneas de investigación del grupo son:

- Biorefinerías:
 - Obtención de biocombustibles a partir de residuos forestales
 - Valorización de bioproductos a partir de hemicelulosas de madera.
 - Valorización de bioproductos a partir de lignina de madera.
- Madera sólida: Modificación física y química de la madera.

Contacto: Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (www.fing.edu.uy/iiq/ipf). Grupo de Ingeniería de Procesos Forestales. Avda. Julio Herrera y Reissig 565, Tel. (+598) 2712 2620 int. 105, forestales@fing.edu.uy. Montevideo – Uruguay.

4.3.2. Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) – Gerencia de I+D+i – Área Forestales

La investigación en la caracterización de la madera, apoyada en un completo equipamiento y aseguramiento de la calidad de los ensayos, permite desarrollar una adecuada evaluación de la materia prima hacia la industrialización y el agregado de valor de los productos nacionales.

Las líneas prioritarias de investigación sobre los productos forestales incluyen el uso de la madera nacional y sus productos derivados en la construcción, los procesos de producción de celulosa y papel y la producción de energía y combustibles a partir de biomasa. También están orientados hacia el desarrollo y transferencia de tecnologías que produzcan un impacto tangible en el corto y mediano plazo incorporando la satisfacción de las necesidades

detectadas de las micro y pequeñas empresas nacionales. De la misma forma se apoya e impulsa el desarrollo de la normalización de los productos forestales, buscando establecer alianzas con diferentes empresas e instituciones nacionales e internacionales.

Contacto: Laboratorio Tecnológico del Uruguay (www.latu.org.uy). Avda. Italia 6201, Tel. (+598) 2601 3724, jdoldan@latu.org.uy. Montevideo – Uruguay.

4.3.3. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) – Programa Forestal Nacional.

El INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria – Programa Forestal Nacional) con sede en la ciudad de Tacuarembó, realiza investigación en silvicultura y Tecnología de la Madera. Su objetivo es contribuir al desarrollo integral del sector forestal procurando mejorar la competitividad de la cadena de la madera asegurando la sustentabilidad y considerando el trabajo en red y la articulación con el Sistema Nacional de Innovación.

Líneas de investigación:

- Mejoramiento genético.
- Producción de semilla mejorada.
- Domesticación de especies de alto valor.
- Desarrollo de herramientas moleculares para selección asistida.
- Bioinsecticidas entomopatógenos.
- Variabilidad genética de la roya del Eucalyptus.
- Incidencia de las características del sitio y manejo sobre la productividad forestal.
- Comportamiento de la oviposición de la chinche del Eucalyptus.
- Silvopastoreo.
- Desarrollo de sistemas de apoyo a la gestión.
- Escarabajos de corteza de pino.

Contacto: INIA Tacuarembó (www.inia.uy). Ruta 5 Km. 386, Tel. (+598) 4632 2406, forestal@inia.uy, Tacuarembó – Uruguay.

4.4. Servicios

4.4.1. Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) – Departamento de Productos Forestales – Laboratorios de Celulosa y Papel (Montevideo y Fray Bentos)

El Departamento Forestales del LATU desarrolla, adapta y transfiere tecnología para procesos de transformación de la madera, asesora en la optimización y desarrollo de productos forestales y brinda servicios de análisis y ensayos de alto nivel. Estudia las características físicas, mecánicas y químicas de las maderas de plantaciones nacionales y trabaja en la promoción del conocimiento de las materias primas disponibles y su relación con sus usos finales.

Las áreas abarcadas son: el uso energético de biomasa forestal, procesos de producción de madera (aserrado, secado, tercera transformación), protección de madera y productos derivados de ingeniería de madera, materiales de construcción, muebles y aberturas, producción de celulosa y papel.

En el área de celulosa y papel se estudia la calidad de la materia prima de producción forestal mediante la aptitud pulpable de las diferentes especies implantadas en Uruguay a partir de árboles en pie, trozas o chips. La producción de celulosa y papel, mediante procesos de cocción a escala piloto y evaluación del rendimiento de pulpa. Se estudian además los procesos de deslignificación y blanqueo a escala de laboratorio.

El Departamento cuenta con un laboratorio instalado en la Unidad Tecnológica de Fray Bentos donde brinda servicios a empresas forestales e industrias instaladas en la zona. Ha generado un laboratorio en el área de la celulosa y papel de alto nivel, con capacidad para realizar control de calidad de las fibras mediante refinación PFI y la determinación de propiedades papeleras de hojas manuales en tiempos de respuesta adecuados a las necesidades de la industria. Este desarrollo ha sido generado satisfaciendo altas exigencias en el aseguramiento de la calidad de los ensayos, los cuales están acreditados por UKAS (United Kingdom Accreditation Service).

En cuanto a los productos de papel y cartón corrugado, se brindan servicios de control de calidad para los procesos de compra por parte del Estado, como así también el control de la resistencia y calidad de cajas de cartón corrugado para el empaque de productos.

Contacto: Laboratorio Tecnológico del Uruguay (www.latu.org.uy). Avda. Italia 6201, Tel. (+598) 2601 3724, jdoldan@latu.org.uy. Montevideo – Uruguay.

4.4.2. Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) – Dirección de Medio Ambiente

Consciente del desafío que representa el cuidado medioambiental y su importancia para el sector productivo y social de Uruguay, el LATU tiene dentro de sus líneas estratégicas la preservación del medioambiente, a través de la promoción de la producción y el consumo sostenibles.

Teniendo en cuenta el nuevo escenario, caracterizado por el dinamismo y crecimiento industrial, es necesario abordar la temática medio ambiental en forma holística, orientando el análisis de los problemas con la complejidad necesaria, considerando matrices diversas (agua, suelo, aire, biodiversidad, etc.). Se promueve un manejo y una gestión responsable de los recursos naturales y un desarrollo industrial sostenible. Las áreas de conocimiento del LATU en el área medioambiental cubren diversas técnicas analíticas de laboratorio y actividades de campo como muestreos y mediciones in-situ, las que dan soporte a otros de sus servicios, como los de evaluación de sitios, de auditorías de producción más limpia y de modelación de sistemas ambientales.

El LATU tiene capacidad para analizar todas las matrices ambientales, como aire, aguas, sedimentos, suelos y comunidades biológicas, así como aquellas asociadas a sistemas productivos y de servicios: efluentes, residuos y emisiones atmosféricas. La oferta de análisis ambientales cubre ensayos fisicoquímicos, microbiológicos, biológicos y ecotoxicológicos, que se realizan siguiendo protocolos reconocidos internacionalmente como las normas ISO o de la Unión Europea, o metodologías de organismos líderes en la temática como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Durante varios años ha monitoreado la calidad de agua superficial, subterránea, suelos, sedimentos, tanto a nivel de generación de datos para línea de base, como para seguimiento después de instalados los procesos de producción y en algunos casos incluyendo el diseño experimental para selección de puntos de muestreo.

Desde el año 1998 se llevan procesadas cerca de 60.000 muestras. El LATU ha incorporado a su oferta de servicios el estudio de las comunidades biológicas acuáticas y terrestres, la medición de emisiones atmosféricas y el cálculo de la huella de carbono y análisis del ciclo de vida de productos y servicios. Los análisis se realizan con equipos de última generación que se actualizan continuamente y permiten llegar a los límites más exigentes que establecen las normativas ambientales, brindando un servicio eficiente y confiable. Para ello cuenta con un equipo de más de 50 técnicos que trabajan en los procesos de monitoreo y seguimiento ambiental.

Contacto: Laboratorio Tecnológico del Uruguay (www.latu.org.uy). Avda. Italia 6201, Tel. (+598) 2601 3724. Montevideo – Uruguay.



Riadicyp

*Red Iberoamericana
de Docencia e Investigación
en Celulosa y Papel*
<http://www.riadicyp.org>



PROVALOR

RIADICYP é sustentada por este robusto tronco que representa nosso GRUPO HUMANO e em sua copa se entrelaçam os CONHECIMENTOS que se vão gerando e fazendo com que esta árvore cresça e se fortaleça para desenvolvimento da CIÊNCIA e progresso da SOCIEDADE. Os materiais lignocelulósicos, a celulose, o papel e seu reciclado, estão totalmente representados nesta imagem: a química verde está em suas folhas, os componentes polissacarídeos e fenólicos em seus galhos e em material fibroso do seu tronco. Todo o conjunto representa a energia da biomassa, a captação de CO₂, a sustentabilidade, a sã relação do homem com a natureza.

PROVALOR Productos de Valor Agregado a partir de Residuos Agro y Forestoindustriales é uma rede filiada à Asociación RIADICYP. Em cada hexágono estão presentes os quatro pilares de desenvolvimento para a consolidação da bioeconomia: caracterização de matérias-primas e produtos, conversão, bioenergia e tecnologia – sendo esse último responsável por colocar todos os conhecimentos em prática, incluindo o viés econômico, a integração de processos e a melhoria de eficiência. Outros dois pilares adicionais de cada hexágono são o aspecto sócio-econômico e a sustentabilidade ambiental. Mostra-se uma multitude das linhas de produtos com a integração dos diversos processos presentes em uma mesma unidade, junto com múltiplos usos de matérias-primas e diferentes fontes de energia. O conjunto todo é suportado pela biomassa lignocelulósica pertinentes às biorrefinarias, a fim de obter máxima consciência sobre o potencial do material proveniente da base florestal.





Riadicyp

Red Iberoamericana
de Docencia e Investigación
en Celulosa y Papel
<http://www.riadicyp.org>



PROVALOR

La RIADICYP es sostenida por este robusto tronco que representa nuestro GRUPO HUMANO y en su copa se entrelazan los CONOCIMIENTOS que se van generando y hacen que este árbol crezca y se fortalezca para el desarrollo de la CIENCIA y el progreso de la SOCIEDAD. Los materiales lignocelulósicos, la celulosa, el papel y su reciclado, están totalmente representados en esta imagen: la química verde está en sus hojas, los componentes polisacáridos y fenólicos en sus ramas y el material fibroso en su tronco. Todo el conjunto representa la energía de la biomasa, la captación de CO₂, la sustentabilidad y la sana relación del hombre con la naturaleza.

PROVALOR Productos de Valor Agregado a partir de Residuos Agro y Foresto-industriales, es una red afiliada a la Asociación RIADICYP. En cada hexágono están presentes los cuatro pilares de desarrollo para la consolidación de la bioeconomía: caracterización de las materias primas y productos, conversión, bioenergía y tecnología - siendo este último el encargado de poner todo el conocimiento en práctica, incluyendo el sesgo económico, la integración de procesos y el aumento de eficiencia. Otros dos pilares adicionales de cada hexágono son el aspecto socio-económico y la sostenibilidad ambiental. Se muestra una multitud de líneas de productos con la integración de los diferentes procesos presentes en una misma unidad, junto con múltiples usos de materias primas y fuentes de energía diferentes. Todo el conjunto se apoya en la biomasa lignocelulósica de gran importancia para las biorrefinerías, con el fin de obtener el máximo conocimiento sobre el potencial del material de base forestal.



PANORAMA DE LA INDUSTRIA DE CELULOSA Y PAPEL Y MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS 2016



ISBN 978-950-766-118-1



9 789507 661181