



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DECANATO

Eldorado, Misiones, 27 MAR 2019

VISTO: La Nota Interna N°334/2019 presentada por él docente Ing. Damián Loran de la Facultad de Ciencias Forestales, solicitando acreditación del Proyecto de Extensión denominado **"Desarrollo de un Sistema de Planeamiento de Aserraderos (SPA) y Capacitación de Usuarios"**.

CONSIDERANDO:

QUE el proyecto busca mejorar los sistemas productivos de las organizaciones foresto-industriales del NEA, de forma de desarrollar e implementar nuevos esquemas de gestión de los recursos involucrados en el proceso de transformación mecánica de la madera.

QUE en Argentina, el 85% de la producción forestal se encuentra en el NEA y el conglomerado productivo cuenta con más de 1.000 unidades fabriles, de las cuales más de 98% corresponden a PyMES.

QUE la falta de tecnologías apropiadas con lleva a una mala utilización de los recursos. Esto tiene como consecuencia reducción de personal y cierre de las industrias debido a la falta de competitividad frente a otras empresas, especialmente de países vecinos.

QUE la Facultad de Ciencias Forestales considera de alta importancia institucional el desarrollo del proyecto propuesto.

Por Ello:

EL DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

DISPONE

ARTÍCULO 1°.- ACREDITAR AD REFERENDUM DEL CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES, el Proyecto de Extensión denominado **"Desarrollo**

...III



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DECANATO

...///

de un Sistema de Planeamiento de Aserraderos (SPA) y Capacitación de Usuarios" que se desarrollara hasta agosto de 2019, que se detallan en el ANEXO I, que como Adjunto forma parte de la presente.

ARTÍCULO 2º.- DESIGNAR en la dirección del Proyecto al Profesor Diego Ricardo Broz, DNI Nº 30.723.114 y a la Profesora Gabriela Corsano, DNI Nº 23.695.009, indicado en el punto d) del ANEXO I, que como Adjunto forma parte de la presente.

ARTÍCULO 3º.- DESIGNAR a los demás integrantes del proyecto según lo indicado en el ANEXO I, que como Adjunto forma parte de la presente.

ARTÍCULO 4º.- ESTABLECER que el Director del proyecto deberá presentar informes de avances anuales y finales ante la Secretaría de Extensión Universitaria, según establece Art 23 – Resol. HCS 056/2003 que dice: "La presentación del informe se realizará ante la Secretaría de Extensión en el periodo 15 de noviembre al 15 de diciembre".

ARTÍCULO 5º.- La presente Acreditación no implica compromiso financiero de la Facultad de Ciencias Forestales hacia el proyecto más allá de la carga horaria declarada y uso de las instalaciones de la Facultad.

ARTÍCULO 6º.- DELEGAR en la Secretaría de Extensión Universitaria de la Facultad de Ciencias Forestales, la Instrumentación de la actividad y todo cuanto otra gestión sea necesario.

ARTÍCULO 7º.- REGISTRESE, Comuníquese a los interesados y cumplido, ARCHIVESE.

Disposición Nº: 116/2019

fjc/JMQ


Ing. Juan M. Quezada Alvarez
Secretario de Extension
Facultad de Ciencias Forestales
UNaM


Ing. Héctor Fabián Romero
Decano
Facultad de Ciencias Forestales
U.Na.M.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DECANATO

ANEXO I

Eldorado, 11 de marzo de 2019.-

Facultad de Ciencias Forestales, UNaM
Secretaría de Extensión
Ing. Juan Mauricio Quezada Alvarez
.....d

NOTA FCF N° 334/2019

Ref. Aval proy. extensión "Desarrollo de un Sistema de Planeamiento de Aserraderos (SPA) y capacitación a usuarios".

De nuestra mayor consideración, nos dirigimos a Ud. a los fines de elevarle el proyecto "Desarrollo de un Sistema de Planeamiento de Aserraderos (SPA) y capacitación a usuarios" cuyo director es el Dr. Ing. Broz, Diego Ricardo, a los fines de que sea acreditado por la Secretaría que Ud encabeza.

Sin más, poniéndonos a disposición para ampliar información en caso de ser menester, nos despedimos muy atentamente.

Diego R. Broz
integrante Área HSD

Ing. Damian Lorón
Director de Área HSD



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DECANATO

ANEXO I (continua)

PROYECTO DE EXTENSIÓN

- **ÁREA TEMÁTICA**

Tecnología Agraria y Forestal.

- **DISCIPLINAS**

Ingeniería Forestal.

- **TÍTULO DEL PROYECTO**

Desarrollo de un Sistema de Planeamiento de Aserraderos (SPA) y capacitación a usuarios.

- **DIRECCIÓN DEL PROYECTO**

Apellido y Nombre	DNI	Cargo	Función	Carga Horaria
Broz, Diego Ricardo	30.723.114	Profesor e Investigador Asistente, CONICET	Director	8
Corsano, Gabriela	23.695.009	Profesor e Investigador Independiente, CONICET	Co-Director	8

- **INTEGRANTES DEL PROYECTO**

Apellido y Nombre	DNI	Cargo	Función ⁽¹⁾	Carga Horaria
Vanzetti, Nicolás Andrés	33.363.611	Becario Doctoral CONICET	Integrante	12
Montagna, Jorge Marcelo	14.764.046	Profesor e Investigador Principal, CONICET	Integrante	8

a. Integrante - Coordinador - Becario Auxiliar - Becario Perfeccionamiento - Personal de Apoyo - Adscriptos

- **UNIDAD DE GESTIÓN DEL PROYECTO**

Secretaría de Extensión, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones.

- **UNIDAD EJECUTORA DEL PROYECTO**

Instituto de Desarrollo y Diseño (INGAR) - CONICET

Área de Herramienta de Soporte a las Decisiones, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones.

- **OBJETIVOS**

Mediante este proyecto se busca tipificar la industria del aserrío para, en una segunda etapa, desarrollar una herramienta de gestión de operaciones y, en una tercera etapa, transferencia y capacitar a los potenciales usuarios del sistema. Con esto se busca mejorar los sistemas productivos de las organizaciones foresto-



ANEXO I (continua)

industriales del NEA, de forma de desarrollar e implementar nuevos esquemas de gestión de los recursos involucrados en el proceso de transformación mecánica de la madera.

• **PERTINENCIA: Necesidad e Impacto**

En Argentina, el 85% de la producción forestal se encuentra en el NEA (MAGyP, 2013). El conglomerado productivo cuenta con más de 1.000 unidades fabriles, de las cuales más de 98% corresponden a PyMES. La provincia de Misiones contribuye con el 28% de las exportaciones totales del complejo de origen forestal, siendo el 47% productos madereros y 24% celulósico-papelero (Díaz et al., 2009). La gestión de estos sistemas foresto-industriales debe contemplar al bosque, la industria, la demanda y la distribución, buscando reducir los altos costos logísticos incurridos. Se estima que estos costos insumen el 27% del PIB de Argentina (González et al., 2008), siendo los de mayor incidencia los costos de transporte y almacenamiento (Junio et al., 2014). Si bien no hay un cómputo de estos costos para el sector, es claro que reducen su rentabilidad y, con ello, su competitividad en los mercados internacionales (Schwab, 2015; Arvis et al., 2014). Los principales mercados de productos forestales, en los que Argentina debe competir por plazas, son Estados Unidos y China, con aproximadamente 80 millones de m³ en 2013, les siguen Alemania, Japón y Canadá, con cifras cercanas a los 20 millones de m³ y en constante crecimiento en los últimos cuatro años (FAO, 2013). Este contexto, propicio para el desarrollo económico del NEA, debe estar apuntando al desarrollo tecnológico del sector.

La falta de tecnologías apropiadas con lleva a una mala utilización de los recursos. Esto tiene como consecuencia reducción de personal y cierre de las industrias debido a la falta de competitividad frente a otras empresas, especialmente de países vecinos. Referentes del sector como Christian Lamiaux y Pedro López Vinader destacaron que la concentración económica y dificultades en la disponibilidad de la materia prima (MP) para las PyMES industriales de la provincia complican el escenario para ganar mercados. Según José Luis Garay uno de los principales problemas en la competitividad es la logística, con un impacto en los costos en el orden de un 30%, coincidiendo con lo mencionado por Gustavo Cetrángolo. Este último destaca que los precios de los productos forestales a nivel mundial se han recuperado pero el costo de logística interna sigue siendo muy elevado.

• **FUNDAMENTACIÓN**

Las industrias forestales de la región, especialmente los aserraderos, presentan enormes problemas en la gestión de sus operaciones. Uno de los inconvenientes más importante es la articulación entre MP y productos terminados, es decir, en el proceso de transformación de los troncos (cono truncado) en tablas, tirantes, etc. (prismas) de diferentes escuadrías. En este aspecto, se debe definir cómo se cortarían los rollizos disponibles, es decir, determinar un programa de corte a fin de satisfacer el conjunto de pedidos del aserradero, minimizando la pérdida de MP, maximizando beneficios o minimizando inventarios. En este contexto, importantes es contar con sólidas herramientas de gestión, la cual permite tomar decisiones estratégicas minimizando y/o maximizando distintos aspectos y



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DECANATO

ANEXO I (continua)

haciendo un uso racional de los recursos disponibles. Estas herramientas se pueden implementar en cada uno de los segmentos de la cadena de valor e, incluso, integrar todos los segmentos (Troncoso *et al.*, 2015). Es importante destacar la escasa utilización de Sistemas de Soporte a las Decisiones (o DSS por sus siglas en inglés) en el sector, limitado solamente a unas pocas empresas de gran escala.

Los modelos revisados en la literatura presentan particularidades que no permiten una aplicación directa en los aserraderos de la región. En algunos casos son muy simples, en otros muy complejos, no pudiendo ser aplicado a un proceso real. En otros casos difieren significativamente de la realidad que atraviesan los aserraderos de la región. Por este motivo se plantea una instancia de tipificación de aserraderos de la región para desarrollar una herramienta acorde a las necesidades específicas. Además, una de las principales actividades de este proyecto es la difusión de la herramienta para la implementación y capacitación del personal de las industrias.

• DESTINATARIOS

El destinatario del SPA es la Fundación Aglomerado Productivo Forestal (APF) Misiones y Corrientes y, por este medio, los aserraderos de la región que tengan intención de mejorar su esquema de producción.

Los destinatarios de los cursos breves (3 hs aproximadamente) son los aserraderos nucleados a las cámaras, AMAYADAP y APICOFOM, la Facultad de Ciencias Forestales (alumnos, docentes, graduados y público en general), el Consorcio Forestal Corriente Norte (CFCN), la Asociación Civil del Plan Estratégico Foresto Industrial de Corrientes (APEFIC) y la Asociación Maderera y Afines de Corrientes - A.M.A.C. Asociación Maderera y Afines de Corrientes (AMAC).

• RESULTADOS ESPERADOS

En lo que respecta al desarrollo del SPA, se pretende contar con una herramienta que (1) elegir la madera -largo y diámetro- a utilizar, para la fabricación de cada producto, (2) anticipar la compra -cantidad- de MP, (3) reducir el costo de stock de MP (financiero y pérdidas), (4) minimizar la cantidad de residuos (costeros), (5) se mejora la relación costo-producto y (6) minimizar la generación de productos sin mercado. En otras palabras, los beneficios de este proyecto provendrían de una reducción de los costos, gestionando de forma más eficiente los recursos. En base a la literatura y comunicaciones personales, las aplicaciones de herramientas analíticas incrementan sustancialmente los beneficios (superiores al 5%), reducen los costos de operación (superiores a 10%), reducen los desperdicios de madera en playa (hasta un 13%) (Ver resultados de experiencias en Hillier y Lieberman, 2010; pag. 4)

En lo que respecta a difusión y capacitación, se pretende dejar disponible el SPA en el APF para que sea transferido a cualquier empresa que lo requiera y se comprometa con la adquisición de GAMS, software complementario para resolver el modelo matemático desarrollado dentro del SPA. Además, se pretende contar con personal capacitado en el uso de la herramienta e, incluso, una vinculación con empresas para la adaptación y desarrollo de la herramienta para casos específicos.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
 DECANATO

ANEXO I (continua)

Está difusión y transferencia de información sobre el desarrollo del SPA, se realizará a través de cuatro capacitaciones, con un esquema de cursos breves, las mismas tendrán una duración aproximada de 3 horas. Se adjunta a este proyecto el formulario del primer curso a realizarse en la Facultad de Ciencias Forestales (Anexo I).

• **FINANCIAMIENTO**

Rubro	FCF ⁽¹⁾	Contraparte ⁽²⁾
Recursos Humanos (Honorarios)		240.000
Bienes de uso (bienes de capital, equipamiento)	18.500	
Bienes de consumo (Materiales e insumos)		50.000
Servicios técnicos especializados (gastos no personales)		15.700
Pasajes y viáticos	3.500	80.000
Becas		
Administración de fondos⁽³⁾		
TOTAL	22.000	385.700

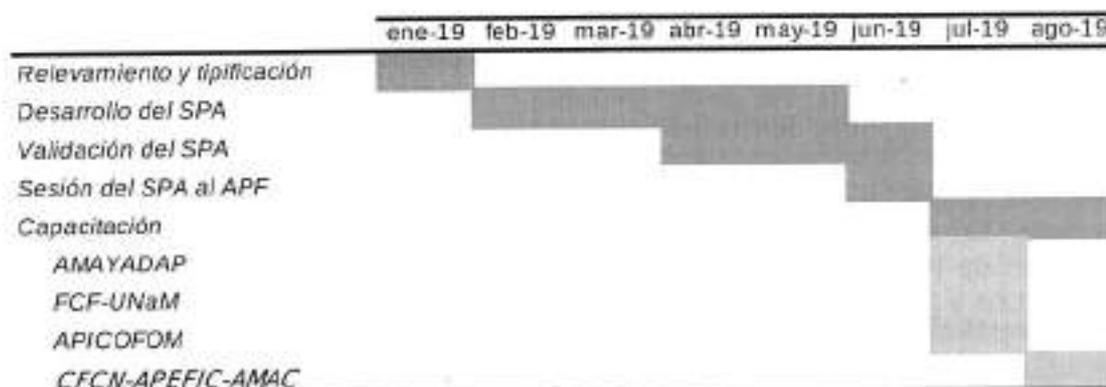
(1) Aportados por la FCF en especies (salarios, espacios físicos, equipamiento)

(2) Obtenidos a través del desarrollo del proyecto o a través de terceros (subsidios, cobro de aranceles, donaciones, etc.)

• **CRONOGRAMA**

Fecha de inicio: 1/1/2019

Fecha de finalización: 31/8/2019





UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DECANATO

ANEXO I (continua)

• ANTECEDENTES

La planificación y programación de la producción, dentro de la empresa, tiene como objetivo mejorar la rentabilidad y competitividad de la misma, incrementando la eficiencia en la toma de decisiones en el ámbito productivo (Chase et al., 1995). Durand et al. (2014), Broz et al. (2014) y Broz (2015) proponen herramientas integrales de gestión forestal basadas en programación matemática multi-meta, multi-producto, multi-planta y multi-período contemplando los niveles táctico y estratégico en forma integral. A nivel de planificación operativa, Broz et al. (2015) propone un modelo mixto-entero para la planificación anual de la cosecha forestal con base en los costos y el abastecimiento de las industrias. A nivel de industria, se requiere determinar qué producto/s solicitar al bosque, cómo procesar los productos, dónde reprocesarlos (si es necesario) y hacia dónde transportar los productos terminados a mínimo costo y satisfaciendo la demanda en tiempo y forma. Maness et al. (2002) describen un sistema de planificación para múltiples productos con valores y demanda fluctuante, por medio del cual establece políticas óptimas de gestión de un aserradero. Gaudreault et al. (2010) presentan una herramienta de gestión para un aserradero, definiendo un programa de producción que minimiza la acumulación de stock y penaliza las demoras en satisfacer pedidos. El programa optimiza el aprovechamiento de las cámaras de secado y minimiza los costos de acabado de productos terminados. Ben Ali et al. (2014) proponen una herramienta para la gestión de la cadena de valor de los productos forestales que integra las operaciones y las ventas en función a los precios y las demandas estacionales. Bajgiran et al. (2014) desarrollan una herramienta de PME para mejorar la cadena de valor de la madera, desde la compra de rollos, el envío a las plantas, el proceso de aserrío y la distribución en el mercado por los distintos canales. El objetivo es establecer un plan integral que minimice los pedidos atrasados y los costos totales. Varas et al. (2014) proponen un modelo de optimización robusta, basado en el modelo determinístico de Maturana et al. (2010), para la planificación de la producción de un aserradero en donde hay incertidumbre en los niveles de suministro de troncos y de la demanda de los productos terminados. Rafiei et al. (2015) plantean un modelo numérico para la planificación de una planta de remanufactura de madera, en la que hay incertidumbre sobre la demanda, y en la que los tiempos de preparación dependen de la capacidad y de la secuencia de producción. El propósito es incrementar el nivel de servicio y mantener los niveles de stock en un tamaño razonable. Aplicaciones similares se puede encontrar en los trabajos de Rossit et al. (2014), Rossit et al. (2015a) y Rossit et al. (2015b). Caballero et al. (2006) presentan un modelo multiobjetivo para la planificación de la producción con base en las siguientes metas: 1) satisfacer la demanda de productos elaborados, 2) minimizar los desperdicios generados en el proceso de transformación, 3) priorizar la utilización de la madera en stock antes de solicitar más madera al bosque y 4) minimizar los excedentes de madera elaborada respecto a la demanda. Pizani Zanetti (2009) plantea un modelo de programación matemática con el que encuentra un plan óptimo de producción teniendo en cuenta el esquema de corte de la troza. Troncoso et al. (2015) proponen un enfoque de gestión holístico para mostrar el efecto de la demanda sobre la industria forestal, en una cadena de valor integrada. Se



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DECANATO

ANEXO I (continua)

concluye que el modelo integral, es decir, aquel que incorpora aspecto de la cosecha forestal y la producción del aserradero, genera un VAN entre 5 y 8,5% mayor en comparación a los modelos desagregados. Por su parte, Troncoso Matamoros (2015) desarrolló un DSS que permita aumentar el beneficio de la operación de los aserraderos, por medio de optimizar la utilización de recursos de MP y la capacidad instalada en las plantas de producción. Este aspecto es muy importante debido a que permite incorporar mejoras tecnológicas sin realizar cuantiosas inversiones en equipos. A la fecha, esta herramienta se encuentra operativa y ha generado importantes beneficios a la empresa adoptante.

Dentro de la gama de modelos de programación matemática, las aplicaciones más habituales, y sobre la que hace mención la bibliografía, son del tipo PME.

Podemos generalizar la función objetivo de la siguiente: $\text{Min } c^T x + d^T y$, siendo x un vector de n variables continuas, el cual nos puede indicar cantidades, volúmenes, tiempos, etc.; y es un vector que toma valores 0 y 1, la cual nos puede indicar hace o no hacer, procesar o no procesar, etc.; c y d son vectores de parámetros de dimensión $n \times 1$ y $q \times 1$ respectivamente, los cuales representarían costos variables o precios y costos fijos, respectivamente; y las restricciones:

$Ax + By \leq b; x \in \mathbb{R}^n; y \in \{0,1\}^q$, siendo A y B matrices tecnológicas, lo cual representa relaciones de producción, etc.; b es un vector de recursos de producción, el cual define los recursos disponibles en el proceso productivo, y F es la región factible. Debido a la complejidad de estos modelos, por su carácter entero, se deben contar con potentes softwares de optimización con robustos algoritmos. Los algoritmos *branch and bound*, *branch and price*, *branch and Fix* son los más poderosos para resolver modelos lineales y enteros. Dentro de los paquetes comerciales para programación matemática, GAMS¹ es uno de los más utilizados ya que cuenta con potentes solvers (CPLEX, DICOPT, CONOPT, BARON, etc.) (McCarl et al., 2013; GAMS, 2014) que permiten trabajar en la línea de toda la literatura mencionada.

• BIBLIOGRAFIA

ARVIS, J.F.; SASLAVSKY, D.; OJALA, L.; SHEPHERD, B.; BUSCH, C.; RAJ, A. (2014): Connecting to Compete 2014 Trade Logistics in the Global Economy The Logistics Performance Index and Its Indicators. The World Bank. 59 pp.

BAJGIRAN, O.; ZANJANI, M.; NOURELFATH, M. (2014): Integrated tactical planning in lumber supply chains. Proceedings of the 2014 Industrial and Systems Engineering Research Conference, Montréal, Canada.

BEN ALI, M.; GAUDREAU, J.; D'AMOURS, S.; CARLE, M-E. (2014): A multi-level framework for demand fulfillment in a make-to-stock environment- a case study in canadian softwood lumber industry. 10th International Conference of Modeling and Simulation. Nancy, France.

BROZ, D. (2015): Diseño y desarrollo de un sistema holístico a través de técnicas de simulación y optimización integradas aplicado a la planificación táctica de operaciones forestales. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur. 175 pp.

BROZ, D.; DURAND, G.; ROSSIT, D.; FRUTOS, M.; ROSSIT, D. (2015): Un modelo de optimización para la planificación anual de la cosecha forestal. XXVIII Encuentro Nacional de Docentes en Investigación Operativa (ENDIO) - XXVI Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa (EPIO) - VIII Red Iberoamericana de Evaluación y Decisión Multicriterio.

¹ <http://www.gams.com/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DECANATO

ANEXO I (continua)

BROZ, D.; DURAND, G.; TOHMÉ, F.; FRUTOS, M.; ROSSIT, D. (2014): Un modelo multi-meta, multi-producto, multi-planta y multi-período de planificación forestal bajo riesgo: Avance de Diseño. Anales del 12º Simposio Argentino de Investigación Operativa - 43 Jornadas Argentinas de Informática - SADIO. pp 33-49. Capital Federal, Buenos Aires.

CABALLERO FERNÁNDEZ, R.; GÓMEZ NÚÑEZ, T.; MOLINA LUQUE, J. (2006): Un modelo de programación de metas para la planificación operativa de un aserradero de madera. XIV Jornadas de ASEPUMA. Badajoz, España.

CHASE, R.B.; AQUILANO, N.J.; JACOBS, F.R. (1995). Production and operations management: manufacturing and services. 8va ed. McGraw-Hill Inc. 889 pp.

DÍAZ, D.; DIP, J.; ARJOL, M. (2009): El impacto de la promoción forestal en la Provincia de Misiones: Una aproximación econométrica. Observatorio de la Economía Latinoamericana N° 119.

DURAND, G.; BROZ, D.; ROMERO, C.; DIAZ-BALTEIRO, L.; FRUTO, M.; ROSSIT, D. (2014): Avance preliminar en el diseño de un modelo de planificación forestal mediante programación por metas determinística. XXVII Encuentro Nacional de Docentes en Investigación Operativa (ENDIO) - XXV Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa (EPIO). San Nicolás, Buenos Aires.

FAO, 2013. Datos y cifras globales de productos forestales. En <http://www.fao.org/forestry/35448-013890584244dcda407adb780c30229fb.pdf>

GAMS Development Corporation (2014): The solvers manuals. 818 pp.

GAUDREAU, J.; FORGET, P.; FRAYRET, J.-M.; ROUSSEAU, A.; LEMIEUX, S.; D'AMOURS, S. (2010): Distributed operations planning in the softwood lumber supply chain: models and coordination. International Journal of Industrial Engineering, 17(3): 168-189.

GONZÁLEZ, J.; GUASCH, J.; SEREBRISKY, T. (2008): Improving logistics costs for transportation and trade facilitation. The World Bank, Latin America and Caribbean Region. Policy research working paper series 4558. 46 pp.

JUNIOR, M.; LAZARETTI, D.; VIEIRA, A. (2014): A eficiência logística na cadeia do gusa a biorredutor. En XVII Seminário de Atualização sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal. Curitiba, Brasil. 113-132 pp.

MAGYP (2015): Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Dirección de Producción Forestal. Elaboración de un mapa de plantaciones forestales de la República Argentina de actualización permanente. Área SIG e Inventario Forestal. Revisado en abril del año 2015 en: <http://www.minagri.gov.ar/new/0-0/forestacion/inventario/mapa%20de%20planta.html>

MANESS, T.; NORTON, S. (2002): Multiple Period Combined Optimization Approach to Forest Production Planning. Scand. J. For. Res. 17(1): 460-471.

MATURANA, S.; PIZANI, E.; VERA, J. (2010): Scheduling production for a sawmill: A comparison of a mathematical model versus a heuristic. Computers & Industrial Engineering, 59(4): 667-674.

MCCARL, B. A.; MEERAUS, A.; VAN DER EIJK, P.; BUSSIECK, M.; DIRKSE, M.; STEACY, P. (2013): McCarl GAMS user guide. 842pp.

RAFIEI, R.; NOURELFATH, M.; GAUDREAU, J.; SANTA-EULALIA, L.A.; BOUCHARD, M. (2015): Dynamic safety stock in co-production demand-driven wood remanufacturing mills: A case study. Int. J. Production Economics. 165(1): 90-99.

ROSSIT D.; FRUTOS M.; TOHMÉ F.; BROZ D. (2015b): Modelo de subloteo considerando el efecto aprendizaje en configuraciones productivas flow-shop. Simposio de Informática Industrial, 44 JAIIO. Rosario, Argentina.

ROSSIT, D.; BROZ, D.; FRUTOS, M.; DURAND, G. ROSSIT, D. (2015a): Optimización en un entorno flow-shop con sub-lotes variables y entremezclados. XXVIII Encuentro Nacional de Docentes en Investigación Operativa (ENDIO) - XXVI Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa (EPIO) - VIII Red Iberoamericana de Evaluación y Decisión Multicriterio. Bahía Blanca, Argentina.

ROSSIT, D.; FRUTOS, M.; TOHMÉ, F.; BROZ, D.; ROSSIT, D. (2014): Análisis comparativo de técnicas de dimensionamiento de lotes flexibles en producción flow-shop. VII Congreso de Ingeniería Industrial (COINI). Puerto Madryn, Argentina.

SCHWAB, K. (2015): The Global Competitiveness Report 2014-2015. World Economic Forum.

TRONCOSO MATAMOROS, C. A. (2015). Optimización de los procesos de planificación de la producción de aserraderos. Tesis de Maestría, Universidad de Chile. 150 pp.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DECANATO

ANEXO I (continua)

concluye que el modelo integral, es decir, aquel que incorpora aspecto de la cosecha forestal y la producción del aserradero, genera un VAN entre 5 y 8,5% mayor en comparación a los modelos desagregados. Por su parte, Troncoso Matamoros (2015) desarrolló un DSS que permita aumentar el beneficio de la operación de los aserraderos, por medio de optimizar la utilización de recursos de MP y la capacidad instalada en las plantas de producción. Este aspecto es muy importante debido a que permite incorporar mejoras tecnológicas sin realizar cuantiosas inversiones en equipos. A la fecha, esta herramienta se encuentra operativa y ha generado importantes beneficios a la empresa adoptante.

Dentro de la gama de modelos de programación matemática, las aplicaciones más habituales, y sobre la que hace mención la bibliografía, son del tipo PME.

Podemos generalizar la función objetivo de la siguiente: $\text{Min } c^T x + d^T y$, siendo x un vector de n variables continuas, el cual nos puede indicar cantidades, volúmenes, tiempos, etc.; y es un vector que toma valores 0 y 1, la cual nos puede indicar hace o no hacer, procesar o no procesar, etc.; c y d son vectores de parámetros de dimensión $n \times 1$ y $q \times 1$ respectivamente, los cuales representarían costos variables o precios y costos fijos, respectivamente; y las restricciones:

$Ax + By \leq b; x \in \mathbb{R}^n; y \in \{0,1\}^q$, siendo A y B matrices tecnológicas, lo cual representa relaciones de producción, etc.; b es un vector de recursos de p inecuaciones, el cual define los recursos disponibles en el proceso productivo, y F es la región factible. Debido a la complejidad de estos modelos, por su carácter entero, se deben contar con potentes softwares de optimización con robustos algoritmos. Los algoritmo *branch and bound*, *branch and price*, *branch and Fix* son los más poderosos para resolver modelos lineales y enteros. Dentro de los paquetes comerciales para programación matemática, GAMS¹ es uno de los más utilizados ya que cuenta con potentes solvers (CPLEX, DICOPT, CONOPT, BARON, etc.) (McCarl et al., 2013; GAMS, 2014) que permiten trabajar en la línea de toda la literatura mencionada.

• BIBLIOGRAFIA

ARVIS, J.F.; SASLAVSKY, D.; OJALA, L.; SHEPHERD, B.; BUSCH, C.; RAJ, A. (2014): Connecting to Compete 2014 Trade Logistics in the Global Economy The Logistics Performance Index and Its Indicators. The World Bank. 59 pp.

BAJGIRAN, D.; ZANJANI, M.; NOURELFATH, M. (2014): Integrated tactical planning in lumber supply chains. Proceedings of the 2014 Industrial and Systems Engineering Research Conference, Montréal, Canada.

BEN ALI, M.; GAUDREAU, J.; D'AMOURS, S.; CARLE, M-E. (2014): A multi-level framework for demand fulfillment in a make-to-stock environment- a case study in canadian softwood lumber industry. 10th International Conference of Modeling and Simulation. Nancy, France.

BROZ, D. (2015): Diseño y desarrollo de un sistema holístico a través de técnicas de simulación y optimización integradas aplicado a la planificación táctica de operaciones forestales. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur. 175 pp.

BROZ, D.; DURAND, G.; ROSSIT, D.; FRUTOS, M.; ROSSIT D. (2015): Un modelo de optimización para la planificación anual de la cosecha forestal. XXVIII Encuentro Nacional de Docentes en Investigación Operativa (ENDIO) - XXVI Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa (EPIO) – VIII Red Iberoamericana de Evaluación y Decisión Multicriterio.

¹ <http://www.gams.com/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DECANATO

ANEXO I (continua)

BROZ, D.; DURAND, G.; TOHMÉ, F.; FRUTOS, M.; ROSSIT, D. (2014): Un modelo multi-meta, multi-producto, multi-planta y multi-período de planificación forestal bajo riesgo: Avance de Diseño. Anales del 12º Simposio Argentino de Investigación Operativa - 43 Jornadas Argentinas de Informática - SADIO. pp 33-49. Capital Federal, Buenos Aires.

CABALLERO FERNÁNDEZ, R.; GÓMEZ NÚÑEZ, T.; MOLINA LUQUE, J. (2006): Un modelo de programación de metas para la planificación operativa de un aserradero de madera. XIV Jornadas de ASEPUMA. Badajoz, España.

CHASE, R.B.; AQUILANO, N.J.; JACOBS, F.R. (1995). Production and operations management: manufacturing and services. 8va ed. McGraw-Hill Inc. 889 pp.

DÍAZ, D.; DIP, J.; ARJOL, M. (2009): El impacto de la promoción forestal en la Provincia de Misiones: Una aproximación econométrica. Observatorio de la Economía Latinoamericana Nº 119.

DURAND, G.; BROZ, D.; ROMERO, C.; DIAZ-BALTEIRO, L.; FRUTO, M.; ROSSIT, D. (2014): Avance preliminar en el diseño de un modelo de planificación forestal mediante programación por metas determinística. XXVII Encuentro Nacional de Docentes en Investigación Operativa (ENDIO) - XXV Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa (EPIO). San Nicolás, Buenos Aires.

FAO, 2013. Datos y cifras globales de productos forestales. En <http://www.fao.org/forestry/35448-013890584244dcca407adb780c30229fb.pdf>

GAMS Development Corporation (2014): The solvers manuals. 818 pp.

GAUDREAU, J.; FORGET, P.; FRAYRET, J-M.; ROUSSEAU, A.; LEMIEUX, S.; D'AMOURS, S. (2010): Distributed operations planning in the softwood lumber supply chain: models and coordination. International Journal of Industrial Engineering, 17(3): 168-189.

GONZÁLEZ, J.; GUASCH, J.; SEREBRISKY, T. (2008): Improving logistics costs for transportation and trade facilitation. The World Bank, Latin America and Caribbean Region. Policy research working paper series 4558. 46 pp.

JUNIOR, M.; LAZARETTI, D.; VIEIRA, A. (2014): A eficiência logística na cadeia do gusa a biorredutor. En XVII Seminário de Atualização sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal. Curitiba, Brasil. 113-132 pp.

MAGYP (2015): Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Dirección de Producción Forestal. Elaboración de un mapa de plantaciones forestales de la República Argentina de actualización permanente. Área SIG e Inventario Forestal. Revisado en abril del año 2015 en: <http://www.minagri.gob.ar/new/0-0/forestacion/inventario/mapa%20de%20planta.html>

MANESS, T.; NORTON, S. (2002): Multiple Period Combined Optimization Approach to Forest Production Planning. Scand. J. For. Res. 17(1): 460-471.

MATURANA, S.; PIZANI, E.; VERA, J. (2010): Scheduling production for a sawmill: A comparison of a mathematical model versus a heuristic. Computers & Industrial Engineering, 59(4): 667-674.

MCCARL, B. A.; MEERAUS, A.; VAN DER EIJK, P.; BUSSIECK, M.; DIRKSE, M.; STEACY, P. (2013): McCarl GAMS user guide. 842pp.

RAFIEI, R.; NOURELFATH, M.; GAUDREAU, J.; SANTA-EULALIA, L.A.; BOUCHARD, M. (2015): Dynamic safety stock in co-production demand-driven wood remanufacturing mills: A case study. Int. J. Production Economics. 165(1): 90-99.

ROSSIT D.; FRUTOS M.; TOHMÉ F.; BROZ D. (2015b): Modelo de subloteo considerando el efecto aprendizaje en configuraciones productivas flow-shop. Simposio de Informática Industrial, 44 JAIIO. Rosario, Argentina.

ROSSIT, D.; BROZ, D.; FRUTOS, M.; DURAND, G. ROSSIT, D. (2015a): Optimización en un entorno flow-shop con sub-lotes variables y entremezclados. XXVIII Encuentro Nacional de Docentes en Investigación Operativa (ENDIO) - XXVI Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa (EPIO) - VIII Red Iberoamericana de Evaluación y Decisión Multicriterio. Bahía Blanca, Argentina.

ROSSIT, D.; FRUTOS, M.; TOHMÉ, F.; BROZ, D.; ROSSIT, D. (2014): Análisis comparativo de técnicas de dimensionamiento del lote flexible en producción flow-shop. VII Congreso de Ingeniería Industrial (COINI). Puerto Madryn, Argentina.

SCHWAB, K. (2015): The Global Competitiveness Report 2014-2015. World Economic Forum.

TRONCOSO MATAMOROS, C. A. (2015). Optimización de los procesos de planificación de la producción de aserraderos. Tesis de Maestría, Universidad de Chile. 150 pp.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DECANATO

ANEXO I (continua)

TRONCOSO, J.; D'AMOURS, S.; FLISBERG, P.; RÖNNQVIST, M.; WEINTRAUB, A. (2015). A mixed integer programming model to evaluate integrating strategies in the forest value chain-A case study in the Chilean forest industry. *Canadian Journal of Forest Research*. 45(7): 937-949.

VARAS, M.; MATURANA, S.; PASCUAL, R.; VARGAS, I.; VERA, J. (2014): Scheduling production for a sawmill: A robust optimization approach. *Int. J. Production Economics*. 150(1): 37-51.