

NOTA TÉCNICA

Modelado y optimización en el manejo forestal sustentable de la Mesopotamia argentina. Una revisión y análisis

Modeling and optimizing the sustainable forest management of the Argentine Mesopotamia. A review and an analysis

Friedl R. A.¹; D. R. Broz² y J. E. Arce³

Recibido en junio de 2018; aceptado en noviembre de 2019

RESUMEN

Se caracteriza el sector foresto industrial de la región mesopotámica argentina y analizan las aplicaciones de herramientas de investigación operativa en la misma. La evaluación se realiza contemplando publicaciones recientes y las categorías consideradas en las aplicaciones en cadena de suministro a plantas de bioenergía y problemas abiertos propuestos en aplicaciones forestales de dichas técnicas. La mayoría de las optimizaciones realizadas, se vinculan a determinaciones de las ofertas de materia prima estratégicas a escala empresa o regional, utilizando técnicas de programación lineal (PL). En cuanto a las modelizaciones de los itinerarios optimizados de camiones, resultan pendientes las incorporaciones de algoritmos que permitan manejar las demoras en el bosque y por colas de descarga en las industrias. El estudio de la localización y abastecimiento de plantas de bioenergía, empleando combustibles de origen foresto-industrial, aparece como una aplicación interesante de considerar en breve. Se considera que las aplicaciones de modelos de SIG-PL, tienen gran potencial vinculado al ordenamiento territorial, a la planificación urbana y al manejo de cuencas. En lo referente a los planes de determinación de oferta futura de materia prima, resulta pendiente la consideración de la sustentabilidad y la prueba o decisión de los mejores indicadores de los aspectos sociales y ambientales.

Palabras Claves: aplicaciones forestales, investigación operativa, programación lineal,

ABSTRACT

In this paper, the forest-industrial sector of the Argentine Mesopotamian Region is characterized and the applications of operational research tools in it are analyzed. The evaluation is carried out considering recent publications while the categories considered in the applications in the supply chain to bioenergy plants and open problems proposed in forest applications of these techniques. Most of the optimizations implemented are linked to determinations of either regional- or company-level offers of strategic raw material using PL linear programming (LP) techniques. As for the modeling of optimized truck routes, the incorporation of algorithms allowing for managing delays in the forest and for discharge lines in the industries are pending. The study on the location and supply to bioenergy plants using forest-industrial fuels, appears as an interesting application to consider shortly. It is believed that applying the SIG-PL models have great potential when linked to territorial planning, urban planning and watershed management. With regard to the plans for determining future raw materials supply, considering sustainability and the proof or decision of the best indicators of social and environmental aspects are pending.

Key Words: forest applications, operational research, linear programming

¹ Profesor Titular de Dasometría, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones. E-mail: afriedl@facfor.unam.edu.ar.

² Profesor Adjunto de Tesis de Grado, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones / CONICET.

³ Profesor Asociado de Manejo Forestal e Investigación Operativa, Departamento de Ciencias Forestales, Universidade Federal do Paraná. Brasil.

1. INTRODUCCIÓN

Caracterización del Sector Foresto Industrial Regional

Los recursos forestales tienen un papel muy importante para el desarrollo de una región ya que le brinda innumerables bienes y servicios. La actividad foresto industrial, vinculada a los bosques implantados, tiene una importancia destacada en la Mesopotamia Argentina, concentrando además una proporción importante de la actividad en el país. En la Tabla 1 se exponen las superficies con bosques cultivados con fines industriales de las provincias ubicadas en la Mesopotamia. En este sentido, considerando un total nacional de 1.313.758 ha, entre las tres provincias suman casi el 82 % de la superficie de los bosques implantados del país.

Tabla 1. Superficies de bosques cultivados por provincia

Provincia	Superficie (ha)	Prop. País (%)	Fuente de Información
Misiones	419.008	31,89	Subsecretaría de Desarrollo Forestal (2016).
Corrientes	500.000	38,06	Consejo Federal de Inversiones (2015).
Entre Ríos	154.000	11,72	Unidad Para El Cambio Rural, UCAR (2015).
Total Región	1.073.008	81,67	

Con respecto a las industrias forestales, la región concentra una gran cantidad de industrias, principalmente relacionadas al aserrío de madera sólida (Tabla 2).

Respecto a la importancia de las industrias relacionadas al consumo de materia prima proveniente de las plantaciones forestales, en Misiones representan el 94 %, especialmente de los géneros *Pinus*, *Eucalyptus* y *Araucaria* y solamente el 6 % proviene del bosque nativo (Fahler, 2011).

Tabla 2. Cantidad de foresto-industrias por provincia

Provincia	Número de Industrias	Fuente de Información
Misiones	731	Subsecretaría de Desarrollo Forestal de Misiones y Facultad de Ciencias Forestales, SDESFOR y FCF (2010).
Corrientes	150	Ministerio de Agroindustria (2018).
Entre Ríos	193	Mastrandrea y Vergara (2010).
Total Región	1.156	

Alonso Schwarz *et al.* (2015) estudiaron con datos de 2013, el impacto de los bosques cultivados y la industrialización de sus productos, sobre el desarrollo local, a través de la contribución directa e indirecta al PBG y la creación de puestos de trabajo en la región. Los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 3 y 4.

Tabla 3. La contribución del sector foresto-industrial al PBG de cada provincia de la Mesopotamia

Provincia	Contribución directa al PBG (millones \$)	Contribución indirecta al PBG (millones \$)	Contribución total al PBG (millones \$)	(%)
Misiones	13.185	13.898	27.083	26
Corrientes	3.117	3.356	6.473	21
Entre Ríos	1.294	1.371	2.665	4
Total Región	17.596	18.625	36.221	18

Tabla 4. Puestos de trabajo generados por el sector foresto industrial en la Mesopotamia

Provincia	Empleo Directo	Empleos Indirectos	Empleos Totales
Misiones	22.302	17.707	40.009
Corrientes	7.685	4.745	12.430
Entre Ríos	9.136	7.294	16.430
Total	39.123	29.746	68.869

Fuente: Alonso Schwarz *et al.* (2015).

Gestión o Manejo Forestal

Se considera a la gestión o manejo forestal al conjunto de ideas, decisiones y acciones para administrar un emprendimiento forestal.

De acuerdo a la dimensión espacial o a la extensión del área gestionada se consideran las siguientes opciones/niveles: rodal, predio, empresa, provincia, región o país. De acuerdo a la dimensión temporal de la gestión, planificación o decisión, según varios autores entre los que se cuenta a Atashbar *et al.* (2016) las opciones son: estratégica (largo plazo, más de 5-30 años), táctica (mediano plazo más de 1 - 5 años) y operativa (diaria - hasta 1 año).

Según Rönqvist *et al.* (2015), las decisiones estratégicas de manejo forestal crean y definen los recursos disponibles para la empresa forestal en base a la tierra disponible, a la capacidad industrial y a las reglas que rigen el uso y la asignación del recurso forestal. Diferentes tomadores de decisiones estratégicas tomarán legítimamente diferentes decisiones estratégicas.

Sustentabilidad y Certificación Forestal

El desarrollo sostenible o duradero propone asegurar que se satisfagan las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer las actuales, (Brundtland, 1987).

Se entiende por certificación forestal al “Procedimiento voluntario por el que una tercera parte independiente proporciona una garantía escrita tanto que la gestión forestal es conforme a criterios de sostenibilidad como que se realiza un seguimiento fiable desde el origen de los productos forestales”. La certificación forestal voluntaria puede ser definida entonces como un instrumento que permite reunir en el mercado a productores y consumidores que desean ofrecer y comprar productos forestales que provienen de bosques manejados de manera sostenible y que cumplen con estándares de desempeño reconocidos y aceptados internacionalmente. Estos estándares combinan Principios y Criterios internacionales que tienen sus bases en los distintos procesos internacionales que se llevaron a cabo en el mundo a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo UNCED, United Nations (1992).

Situación del uso de la Optimización en el Mundo

Atashbar *et al.* (2016) realizando una revisión del modelado y la optimización en la cadena de suministro de biomasa a plantas de generación de energía, realizan cuatro clasificaciones que se adoptan en este trabajo, para evaluar la situación de las mismas herramientas en el sector foresto industrial regional. En la clasificación de las funciones objetivo, las cuatro opciones empleadas son Minimización de los costos totales, Maximización de las rentas o beneficios, Maximización del valor actual neto (VAN) y la Maximización de objetivos múltiples. Se destacan las citas de Santibañez-Aguilar *et al.* (2014) que consideran objetivos económicos y ambientales y de You y Wang (2012) que diseñan cadenas de suministro sustentables de biocombustibles celulósicos bajo objetivos económicos, ambientales y sociales. La primera función objetivo es minimizar el costo anual total, la segunda función objetivo es medir las emisiones de gases de efecto invernadero y el objetivo social es medir el número de empleos locales agregados. Se propone un modelo de

programación lineal mixto de múltiples períodos considerando las características principales de las cadenas de suministro de etanol celulósico, como el suministro de existencias estacionales, la diversidad geográfica, la disponibilidad de recursos de biomasa, etc.

Al clasificar los niveles de toma de decisión, consideran como alternativas las decisiones estratégicas, tácticas y operacionales. Mientras que en la clasificación de los métodos de solución, consideran los métodos heurísticos, los análisis de decisión multi-criterio, los sistemas de información geográfica y la simulación. También deben ser considerados la programación lineal (PL) y los métodos para optimizaciones multi-objetivos.

Rönnqvist *et al.* (2015) describen detalladamente las aplicaciones forestales de las herramientas de la investigación operativa, proponiendo un total de 33 problemas abiertos, que se adoptan en este trabajo para destacar los de aplicación actual en la región y a futuro. La diversidad de problemas de decisión y el tamaño de las tareas de planificación se han incrementado significativamente en los últimos años. Más información ha llevado a modelos más grandes, y más restricciones han llevado a restricciones más complejas.

Existe un largo historial de modelos de PL para evaluar la estrategia forestal y estos son los modelos a los que nos dirigimos. La planificación estratégica se considera a nivel gubernamental o de industrias forestales. Muchas jurisdicciones usan modelos de simulación que abordan problemas similares y producen resultados similares.

Hoy en día es ampliamente aceptado que la gestión forestal significa manejo forestal sostenible (MFS) relacionado con la conservación de la biodiversidad, el suelo, el agua, los ecosistemas y la productividad, así como también los aspectos sociales. La mayoría de las jurisdicciones han desarrollado criterios e indicadores formales de MFS, según procesos internacionales y otros han desarrollado sus propios criterios e indicadores.

El segundo gran motor de la estrategia de gestión forestal es el reconocimiento de la compleja y cada vez más integrada cadena de suministro de productos forestales. En el nivel estratégico, las empresas deben considerar toda la cadena de suministro, desde los bosques, las plantas de procesamiento y hasta la distribución de los productos a los clientes finales, con decisiones que involucran plantas, mercados y sistemas de distribución.

Situación del Uso de la Optimización en la Mesopotamia

Las aplicaciones de optimizadores a nivel empresas forestales de la región datan de los años 80'; involucrando a empresas forestales consideradas grandes y medianas, que además en la mayoría de los casos se caracterizaban por tratarse de empresas verticalizadas, o sea aquellas que poseían un patrimonio forestal (plantaciones), y también industrias e incluso dependencias de compra y ventas de productos primarios e industrializados. En la Tabla 5 se presenta una síntesis de los trabajos de planificación y optimización realizados en la región, presentados en orden cronológico de la aplicación realizada, indicando en la misma, planificador/es, sistema, año y destinatarios, temporalidad, espacialidad, método de solución, función objetivo, problema a resolver y problema abierto según Rönnqvist *et al.* (2015).

En torno de 1980 al organizar la sección forestal del proyecto de la planta celulósica de Alto Paraná S.A., la empresa y la Consultora Jakko Poyry, desarrollaron un plan estratégico de abastecimiento a dicha planta, entre otras acciones de asistencia a la organización y capacitación de técnicos y trabajadores del sector forestal de la empresa, instalaron también dos sistemas computacionales, uno de planificación estratégica (Long Range Plannig System - LRP) Jakko Poyry, Consulting. (1980¹) y otro de planeamiento operativo (Operational Planning System-OPS). Jakko Poyry, Consulting (1980²), ítem 1 de la Tabla 5.

En el Item 2 de la Tabla 5, se indica la aplicación del sistema de optimización Sabvia, desarrollado y descrito en Braier y asociados (2010), que se sugiere como una herramienta útil en la planificación táctica y estratégica de plantaciones forestales y abastecimiento de madera a plantas industriales. Según indican sus autores, contempla las relaciones entre valores físicos y

económicos de las plantaciones, y la interrelación entre corto, mediano y largo plazo, así como evaluar el efecto de medidas gubernamentales, ordenamiento ambiental, parques nacionales, etc. Permite manejar datos (cantidad de hectáreas y plantaciones existentes, rendimiento bajo distintos tratamientos silviculturales, costos de plantación y de aprovechamiento, demandas industriales regionalizadas, costos de transporte, tratamientos impositivos y subsidios, etc.). Sabvia sugiere decisiones según las necesidades de venta de raleo, poda, tala, rebrote, compraventa de madera y abastecimiento presente y futuro. Está orientado por la optimización a largo plazo del valor de las plantaciones o por la minimización de los costos industriales y puede interrelacionarse con GIS, permitiendo observar los datos y resultados georeferenciados. Y además proporciona información ordenada y clasificada para una condición competitiva superior. Es la herramienta indispensable para comprender el desarrollo de su contexto foresto-industrial al momento de plantear estrategias o realizar negociaciones. Empresas como Alto Paraná S.A., Pecom - Forestal (Pérez Companc S.A.); Papel Misionero S.A., Pomera S.A., Masisa S.A., FFF1 (Fideicomiso Financiero Forestal I) y Forestal San Lorenzo S.A. figuran entre las empresas que adquirieron el sistema o se les realizaron servicios de formulación de planes estratégicos para el manejo de sus plantaciones, aunque el sistema sirve también para formular planes tácticos.

Más adelante, según el ítem 3 de la Tabla 5, la consultora brasileña STCP (2002) (<https://es.stcp.com.br/>), realizó un estudio a escala regional para la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA), evaluando la importancia del sector y estimando la producción de rollizos, la demanda de la industria forestal actual y a futuro y los mercados, realizan un análisis FODA y proponen un plan estratégico para Misiones y NE de Corrientes.

En el ítem 4 de la Tabla 5, se presenta al sistema de planificación táctica CORTA, que se utiliza a nivel de una empresa desde 2003-2004, para la definición de los planes de corta a mediano plazo (tácticos), o sea de 3 años a 5 años. El mismo fue desarrollado en Chile y se emplea para definir de manera optimizada los planes de corta, usando técnicas de programación lineal, considerando las proyecciones de producción de los rodales a cosechar, la distancia de los mismos a los centros de consumo de las maderas pulpables, aserrables y laminables, los precios de dichos productos y los costos de cosecha y transporte. Las soluciones se pueden volcar a una cartografía digital y realizar ajustes reuniendo rodales aislados que puedan estar previstos cosechar más tarde, con otros que puedan ser cosechados antes, a fin de disminuir costos operativos.

El sistema Asicam (Asignador de camiones) indicado en el ítem 5 de la Tabla 5, en el que se emplean técnicas de simulación y heurísticas, es utilizado para la definición de los itinerarios optimizados de camiones forestales de alcance operativo – diario a nivel empresa. Según Epstein *et al.* (2007), “los objetivos básicos del mismo son satisfacer la demanda de diferentes productos en cada destino y, al mismo tiempo, minimizar los costos de transporte dentro de las limitaciones técnicas, normativas y laborales”. El objetivo del Asicam es la determinación de un programa eficiente de transporte de madera desde distintos orígenes hacia distintos destinos, reduciendo al mínimo los gastos asociados al transporte, pero aun así, respetando restricciones políticas, laborales, y operativas relativas a la empresa forestal para la cual es realizado el programa de transporte, el cual corresponde al problema abierto 6 de Rönnqvist *et al.* (2015).

Aun cuando no hayan sido objeto de aplicaciones en la región, se considera que en un futuro cercano se emplearan algoritmos para resolver tanto el problema abierto 8 ¿Cómo podemos desarrollar modelos y métodos de resolver el problema de fijar el itinerario de camiones forestales que se ocupan de la planificación en tiempo real, incluidas las colas en los puntos de carga y descarga? Un problema con la planificación del ruteo de vehículos, es que no consideran las colas en las entradas de fábrica o las cargadoras. La razón es que las rutas se tratan de forma independiente. Para hacer frente a esto, deben incluirse las restricciones de sincronización. Según Marques *et al.* (2014), hubo varios enfoques heurísticos, pero faltan sistemas de trabajo que garanticen una consideración completa. Como el problema abierto 9 ¿Cómo podemos desarrollar modelos y métodos para la definición de los itinerarios de camiones forestales que se ocupan de la sincronización de camiones y cargadores?, se puede considerar en el abastecimiento a plantas de bioenergía de la región, que se abastecen con diferentes residuos forestales como corteza, aserrín, astillas con corteza y sin corteza y residuos forestales post raleo y cosecha. El uso de la

optimización en el manejo del fuego, propuesta en el Problema abierto 20 de Rönnqvist *et al.* (2015), podría ser también una oportunidad en la región en el futuro cercano.

Según el ítem 6 de la Tabla 5, deben considerarse asimismo a Braier *et al.* (2004), en un trabajo realizado con el mencionado sistema Sabvia para la FAO, donde realizan un análisis de la oferta y demanda estratégica de madera a escala Latino-América, Argentina y dentro de este país a escala Regional (Mesopotamia), considerando por separado géneros y provincias, se analizaron Coníferas en Misiones y Corrientes; Eucaliptos en Corrientes y Entre Ríos y Salicáceas en el Delta, se trató de un análisis estratégico a escala regional empleando programación lineal.

Gauto (2006), desarrolla un modelo de asignación de uso del suelo basado en Programación Lineal (PL) y en Sistemas de Información Geográfica (SIG), desarrollado con el propósito de apoyar el proceso de toma de decisión sobre asignación de uso del suelo en áreas rurales de la Provincia de Misiones, Argentina, presentado en el ítem 7 de la Tabla 5. Se aplicó una estructura de “baja integración” para la vinculación entre PL y SIG. Con la intención de aplicar el modelo a una situación real, se realizó un diagnóstico socio económico y ambiental. Indica luego que del total de los usos del suelo que actualmente posee la Provincia, se seleccionó para trabajar: bosques cultivados, yerba mate, té y tabaco por tratarse de actividades representativas y de características contrastantes en cuanto a generación de renta y empleo, como también en los aspectos ambientales. Atributos como áreas de conservación, aptitud de suelos, pendientes, distancia a rutas, potencial erosivo de los suelos, carga de agroquímicos de cada actividad, renta bruta generada por la cadena productiva de cada uso, generación de empleo, fueron tomados para trabajar. Se plantearon cuatro objetivos básicos de modelado: generación de renta bruta total, generación de empleos, uso de agroquímicos y erosión total de los suelos. Con los datos obtenidos fueron conducidos análisis espaciales de cruzamiento y modelado cartográfico en ambiente SIG; fue construido el modelo de PL y sus resultados visualizados en SIG. Estos resultados demuestran que la PL unida a los SIG son excelentes herramientas de apoyo a la toma de decisión de asignación de uso del suelo, ya que producen resultados realistas, siempre que los datos disponibles sean de calidad y reflejen la distribución en el territorio. Si bien no existe aún una integración total entre ambas herramientas, la estructura de baja integración entre ambos ambientes de modelado (PL y SIG) resultó ser útil y eficiente.

En el ítem 8 de la Tabla 5, se presenta Optimber-LP que fue desarrollado por la empresa brasileña Optimber Otimização e Informática Ltda, es presentado como un sistema de apoyo a la decisión forestal (forest-dss); se especializó en encontrar soluciones inteligentes y funcionales para emprendimientos complejos en diversos segmentos del sector de base forestal (Dos Santos, 2012). El sistema permite simular, formular y resolver diversos escenarios de planificación forestal: salidas compuestas por informes, tablas gráficas y mapas de fácil interpretación y compatibles con planillas de cálculo. Considerando Bosques: cortar, plantar, raleo y podar; Madera: comprar, vender, transferir; Subproductos: comprar, vender, transferir y Tierras: alquilar, comprar, vender, abandonar. En dicho ítem se señala una aplicación destacada de dicho sistema a escala provincial, se refiere a su utilización en el Proyecto SIFIP, Subsecretaría de Desarrollo Forestal de Misiones y Facultad de Ciencias Forestales (2010), en la misma se desarrollaron Planes Estratégicos Forestales con Programación Lineal, empleando la información del Inventario Forestal, del Censo de Industrias e información económica regional; se desarrollaron varios escenarios futuros optimizados, empleando la técnica de optimización denominada Programación Lineal.

El modelo de planeamiento optimizado, permitió desarrollar varios escenarios futuros, uno de los cuales fue Planeamiento Escenario 2 – Equilibrio Provincial Base Modelo matemático de Programación Lineal, empleando la técnica del denominado Modelo tipo I con restricciones operativas.

Las funciones objetivos, implicaban la Maximización de VAN; mientras que las restricciones, establecidas fueron las clásicas de área, límites anuales mínimos y máximos de volúmenes de transferencia y venta; límites anuales mínimos y máximos de área de plantación, raleo, tala rasa; proporción (mix) anual de volúmenes de especies y productos forestales diferentes; equilibrio de producción en años sucesivos; equilibrio de distancia media de transporte en años sucesivos.

Braier *et al.* (2010), trabajaron en la provincia de Corrientes, a escala provincial, en un proyecto multidisciplinario sobre la base de una aplicación computacional que utilizó técnicas de programación lineal, con el objetivo de optimizar los procesos de toma de decisiones y ayudar en la compatibilización de intereses de los sectores forestal y de infraestructura en Corrientes, Argentina, indicado en el ítem 9 de la Tabla 5. El modelo de programación lineal sugirió aumentos potenciales en las áreas plantadas, los productos a considerar, el desarrollo de redes eléctricas y la construcción de caminos y puentes. El problema analizado incluyó cuestiones forestales, pero también considera la disponibilidad de capital de inversión, disponibilidad de infraestructura para apoyar el complejo forestal, disponibilidad de mano de obra, disponibilidad del mercado y competencia, las consecuencias sociales, las interacciones entre actores (aserraderos que proveen astillas a plantas de pulpa o MDF, plantas de celulosa que proveen energía a los aserraderos, generación de contaminantes contra límites sociales y legales). La función objetivo fue maximizar el valor agregado a nivel regional.

En el desarrollo del modelo de programación lineal, se consideraron las decisiones características (detalle anual con un horizonte de 30-50 años), bosques para plantar o renovar, clasificado por actores, áreas y especies, tratamientos silviculturales, incluida la poda, superficies de bosques a ser cosechados, edad, diferentes destinos de la madera, producción industrial y ubicación, siendo el horizonte de planificación de más de 20 años.

Por otro lado, en el ítem 10 de la Tabla 5, se destaca también la aplicación a nivel empresa del sistema ya descrito sistema Optimber-LP, con el cual se preparan diversos escenarios optimizados para la planificación del bosque. Dicho sistema fue desarrollado en asociación con responsables del planeamiento de empresas forestales. Enfocado en las respuestas que se deben dar a los propietarios (accionistas) de los bosques, se aplicó a nivel regional en empresas como FFFI administrado por Pomera S.A. y Pindo S.A.

En el ítem 11 de la Tabla 5, se indica que Braier (2015), trabajando en la Provincia de Entre Ríos, a escala provincial, utiliza un modelo de optimización de programación lineal PL, estableciendo que el objetivo fue la maximización del valor agregado en la región, partiendo de la superficie plantada actual, del crecimiento presente para las plantaciones en distintos tratamientos silviculturales, los costos de plantación, de aprovechamiento y transporte de la madera, de la capacidad instalada actual con suficiencia y costos, de una situación de mercado en cantidades y precios y de determinados costos logísticos para la entrega de esos bienes finales. Considera que maximizar el valor agregado significa conceptualmente buscar las acciones a lo largo de décadas que permitan alcanzar el diseño de las plantaciones y de la industria para lograr el máximo beneficio dentro del marco de las condiciones de mercado establecidas para los productos finales.

Según el ítem 12 de la Tabla 5, Broz (2015) propone un modelo de gestión forestal basado en Programación por Metas Extendida con el objetivo de definir un plan de cosecha óptimo según un enfoque multiproducto en un entorno multiplanta, atendiendo cuestiones económicas, ambientales, silviculturales y físicas. Para el testeó se planteó un sistema integral, conformado por la componente forestal y la industrial. Se estudiaron varios escenarios, en función al peso de los enfoques del modelo. Finalmente, desarrolló un modelo mono-objetivo para la gestión de operaciones en un entorno de programación mixta entera. El objetivo fue minimizar los costos de abastecimiento de madera de un conjunto de industrias forestales en un horizonte de planificación anual. En los modelos la variable crítica es el costo de transporte.

Friedl *et al.* (2017), trabajando a escala provincial en Misiones y utilizando técnicas heurísticas, estiman la producción estratégica de madera, la generación de fuentes de trabajo y la fijación de carbono para el periodo 2016 - 2036, ver ítem 13 de la Tabla 5.

Tabla 5. Síntesis de antecedentes de Planificación Forestal Regional y uso de Investigación Operativa en la Región

Nº	Planificador/es, Sistema, Año y Destinatarios	Temporalidad	Espacialidad	Método de Solución	Función Objetivo	Problema a Resolver	Problema Abierto Rönnqvist <i>et al.</i> (2015)
1	Jakko Poyry, LRP 1980, Apsa	Estratégico y Operacional	Empresa	Simulación	Min Costos Madera pulpable	Abastecimiento de la planta celulósica	14
2	Braier Sabvia 1996-1997, Apsa	Estratégico	Empresa – Regional	PL – Especial	Max VAN	Oferta estratégica regional	14
3	STCP – Propio 2002, Sapya	Estratégico	Regional	Heurístico – Simulación	Equilibrar Oferta y Demanda de madera	Oferta estratégica provincial y regional	14
4	Propio, Corta 2003, Apsa	Táctico	Empresa	PL	Max VAN	Plan trienal cosecha	11
5	Epstein <i>et al.</i> , Asicam 2003-2004, Apsa	Operativo – Diario	Empresa	Heurístico	Min Costo de transporte	Definición itinerarios camiones forestales	6
6	Braier, Sabvia 2004, FAO.	Estratégico	Regional - Mesopotamia	PL	Max VAN	Análisis de oferta y demanda de madera	14
7	Gauto, Propio 2006, Dr. UFPR	Táctico	Provincial	GIS-PL-GIS	Max generación de renta bruta total, de empleos, Min de agroquímicos y erosión total de los suelos	Toma de decisión en asignación de uso del suelo en áreas rurales.	15
8	FCF, Optimber 2010, SDF	Estratégico	Provincial	PL	Max VAN	Oferta estratégica provincial	14
9	Braier <i>et al.</i> , Sabvia 2010, Corrientes	Estratégico	Provincial - Corrientes	PL	Maximizar el valor agregado a nivel regional.	El desarrollo foresto industrial e inversión civil.	14
10	Optimber 2011	Estratégico	Empresa	PL	Max VAN	Determinar oferta optima de madera	14
11	Braier, Sabvia 2015, Entre Ríos	Estratégico	Provincial – Entre Ríos	PL	Max valor agregado en la región	Obtener el mayor ingreso por venta de productos industriales	14
12	Broz, Optimber Dr. UNS, 2015	Táctico (18 años)	40 rodiales de Empresa	Programación por Metas Extendida	Minimizar costos de abastecimiento de madera	Definir un plan de cosecha óptimo según visión multiproducto y multiplanta	15
13	Friedl <i>et al.</i> , Propio Misiones, 2017	Estratégico	Provincial	Heurística	Evaluar la potencialidad sustentable	Evaluar crecimiento del sector foresto-industrial provincial	15

2. CONCLUSIONES

Las herramientas de investigación operativa se aplican en la región desde 1980.

La mayoría de las aplicaciones de optimización en la región, se vinculan a determinaciones estratégicas a escala empresa o regional, para la estimación de la oferta de materia prima, utilizando técnicas de PL.

En cuanto a las modelizaciones de los itinerarios optimizados de camiones, resultan pendientes las incorporaciones de algoritmos que permitan manejar las demoras en el bosque y por colas de descarga en las industrias, propuesta en el Problema abierto 8 de Rönnqvist *et al.* (2015).

El estudio de la localización y del abastecimiento de plantas de bioenergía, empleando combustibles de origen foresto-industrial, aparece como una de las aplicaciones actuales interesantes de considerar.

Se considera que las aplicaciones de modelos de SIG-PL iniciadas por Gauto (2006), tienen un enorme potencial vinculado al ordenamiento territorial, a la planificación urbana y al manejo de cuencas.

En lo referente a los planes de determinación de oferta futura de materia prima, resulta pendiente la consideración de la sustentabilidad y dentro de esta la prueba o decisión de los mejores indicadores de los aspectos sociales y ambientales, propuesta en el Problema abierto 15 de Rönnqvist *et al.* (2015).

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso Schwarz, G.; C. Burg y J. Cuevas. 2015. *Impacto de los bosques de cultivo. Importancia socioeconómica y su efecto multiplicador*. IERAL - Fundación Mediterránea. Documento de Investigación Año 34; Edición 60. Buenos Aires. 41 pag.
- Atashbar, N. Z.; N. Labadie; C. Prins. 2016. *Modeling and optimization of biomass supply chains: A review and a critical look*. IFAC-Papers [en línea] 49-12. Pag. 604-615. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316310230>
- Braier, F. G.; N. Esper; L. Corinaldesi, 2004. *Tendencias y perspectivas del sector forestal al año 2020 Argentina*. Informe Nacional 1. [fecha de consulta: junio de 2018. 81 pag. Disponible en: <<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=SAGYP.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=008182>>
- Braier, G.; Marengo J.; L. M. Mestres y J. Vara. 2010. *Integrated planning for the forestry and infrastructure sectors in Corrientes, Argentina*. [en línea] Alio/Informs Joint International Meeting - Buenos Aires, June 6-9, 2010. Disponible en: <http://www.papyro.com/informs.htm>
- Braier, G. D. 2015. *Análisis acerca del precio de las distintas clases diamétricas de las trozas que den rentabilidad al forestador y maximicen el valor agregado de una cuenca*. XIX Jornadas Forestales de Entre Ríos. 22 pag. [en línea] Disponible en: http://www.jornadasforestales.com.ar/jornadas/2015/TRABAJOS-JORNADAS-FORESTALES-2015_BRAIER.pdf
- Braier & Asociados Consultores. 2018. *Sabvia - La solución de avanzada para la planificación táctica y estratégica de plantaciones forestales y abastecimiento de madera a plantas industriales*. [en línea]. [fecha de consulta: octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.papyro.com/sabviaforestal.htm>
- Broz, D. R. 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 de Doctorado en Ingeniería. UNS. Bahía Blanca. 175 pag.
- Brundtland Report. 1987 United Nations World Commission on Environment and Development, Our Common Future, Oxford University Press.

- Dos Santos, A. 2012. *Uso da programação linear na identificação de estratégias ótimas de regulação florestal considerando mix de consumo*. Tesis de Maestría. Universidad Federal de Paraná, Curitiba, Brasil. 89 pag.
- Casamiquela, C. H. 2015 Editorial. *Revista Producción Forestal*. N° 13. [en línea] [fecha de consulta: abril de 2018]. Pag. 3. Disponible en: <http://forestindustria.magyp.gob.ar/archivos/revista-produccion-forestal/13.pdf>
- Consejo Federal De Inversiones (CFI) - Provincia De Corrientes. 2015. *Actualización del Inventario de Plantaciones Forestales de la provincia de Corrientes. Informe Final*. 97 Pag.
- Croveto, C. 2015. Elaboración del segundo reporte nacional. Criterios e indicadores para la conservación y el manejo sostenible de los bosques templados y boreales para el Proceso de Montreal. *Producción Forestal*, N° 13. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Buenos Aires. Pag. 4-6.
- Epstein, R.; A. Weintraub; J. Catalan, J. 2007. Asicam: A truck scheduling system. value chain optimization 2007. Innovatec. [en línea] 10 Pag. Disponible en: <http://www.fridayoffcuts.com/pix/ASICAM%20-%20Truck%20Fleet%20Utilisation,%20Epstein,%20VChain%2007.pdf>
- Fahler, J. 2011. *Presentación taller de validación del plan de mejora. Informe de Consultoría*. PROSAP - APF. Eldorado. 24 pag.
- Friedl, R. A.; D. R. Broz; J. E. Arce. 2017. *Importancia de un plan estratégico forestal a nivel provincial*. XXXI Jornadas Forestales de Entre Ríos. 5 pag. [en línea] Disponible en: https://www.jornadasforestales.com.ar/jornadas/2017/Friedletal_Planestrategicoforestal.pdf
- Jakko Poyry, Consulting. 1980¹. *Long Range Planning System. System (LRP) and User Manuals*. Puerto Libertad.
- Jakko Poyry, Consulting. 1980². *Operational Planning System (OPS). System and User Manuals*. Puerto Libertad
- Gallardo, E. 2002. *Efectos de la legislación ambiental en las prácticas de manejo forestal en Chile*. 10 pag. In: Schmithüsen, F.; Iselin, G.; Herbst, P., Eds. 2002: Forest Law and Environmental Legislation - Contributions of the IUFRO Research Group 6.13. Proceedings VII. Forstwissenschaftliche Beiträge der Professur Forstpolitik und Forstökonomie Nr. 27; ETH, Zürich, 253 pag.
- Gauto, O. A 2006. *Desenvolvimento e aplicação de um modelo de alocação do uso da terra*. Tesis de Doctorado. Curso de Pos-graduación en Ingeniería Forestal, UFPR. Curitiba, Brasil. 138 pag.
- Mastrandrea, C. y L. Vergara. 2010. *Diagnóstico del sector de transformación primaria de la madera en la región noreste de Entre Ríos, Año 2009*. XXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia. [en línea] [Fecha de consulta: abril de 2018]. 19p. Disponible en: <http://www.jornadasforestales.com.ar/jornadas/2010/425.V.MASTRANDREA.VERGARA.pdf>
- Marques, A. F; J. P. de Sousa; M. Rönnqvist y R. Jafe. 2014. Combining optimization and simulation tools for short-term planning of forest operations. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29(1): 166-177.
- Ministerio de Agroindustria. 2018. *Censo Nacional de Aserraderos*. Informe del relevamiento censal en la provincia de Corrientes. Buenos Aires. 32 pag.
- Norveto, C. 2015. Elaboración del segundo reporte nacional. Criterios e indicadores para la conservación y el manejo sostenible de los bosques templados y boreales para el proceso de Montreal. *Revista Producción Forestal*. N° 13. [en línea] [fecha de consulta: abril de 2018]. Pag. 4-7. Disponible en: <http://forestindustria.magyp.gob.ar/archivos/revista-produccion-forestal/13.pdf>
- Rönnqvist, M.; S. D'amours; A. Weintraub; A. Jofre; E. Gunn; R. G. Haight; D. Martell; A. T Murray and C. Romero. 2015. Operations Research challenges in forestry: 33 Open Problems. *Ann Oper Res* (2015) 232: Pag. 11-40.

- Santibanez-Aguilar, J. E.; J. B. Gonzalez-Campos; J. M. Ponce-Ortega; M. Serna-Gonzalez y M. M. El-Halwagi. 2014. Optimal planning and site selection for distributed multiproduct biorefineries involving economic, environmental and social objectives. *Journal of Cleaner Production*, 65, 270-294. [en línea] [fecha de consulta: mayo de 2018]. doi:10.1016/j.jclepro.2013.08.004.
- Sejzer, R. 2016. *El Círculo de Deming (Shewhart): Ciclo PDCA*. Calidad Total. Hoy mejor que ayer, mañana mejor que hoy. [en línea]. [Fecha de consulta: octubre 2018]. Disponible en: <http://ctcalidad.blogspot.com/>
- Subsecretaría de Desarrollo Forestal de Misiones y Facultad de Ciencias Forestales. 2010. Proyecto SIFIP - Informe Final. Posadas.
- Subsecretaría de Desarrollo Forestal - Provincia de Misiones. 2016. *Actualización del inventario de bosques cultivados de la provincia de Misiones (Sistema de Información Foresto Industrial)*. Convenio Sdesfor, FAO, FCF. Posadas. 68p.
- STCP 2002. Plan *Estratégico para el desarrollo de las Pequeñas y Medianas Industrias Madereras de la Provincia de Misiones y Noreste de Corrientes*. PFD-01/01 Informe Final. Buenos Aires: SAGPyA y STCP Engenharia de Projetos Ltda (<https://es.stcp.com.br/>).
- Unidad para el Cambio Rural (UCAR). 2015. *Argentina: plantaciones forestales y gestión sostenible*. Buenos Aires. 15p. [en línea] [fecha de consulta: abril de 2018] Disponible en: http://forestoindustria.magyp.gob.ar/archivos/gestion-forestal-sostenible/publi_ambiental.pdf
- United Nations, Conference on environment and development (UNCED). 1992. Earth summit. Rio de Janeiro Conference.
- You, F. y B. Wang. 2012. *Multiobjective optimization of biomass-to-liquids processing networks*. Foundations of Computer-Aided Process Operations. [en línea] [fecha de consulta: junio de 2018]. Pag. 1-7. Disponible en: <http://focapo.cheme.cmu.edu/2012/proceedings/data/papers/013.pdf>

