



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE INGENIERÍA



TESIS DE GRADO

COOPERACION LOGISTICA APLICADA AL SECTOR FORESTAL

Estudiantes:

Mateo Cal
Alejandro Chavez
Daniela Duran

Tutores:

Ing. Hector Cancela
Ing. Victor Viana

21 de septiembre de 2021

Agradecimientos

En primer lugar, queremos agradecerle a nuestros tutores, Victor Viana y Hector Cancela por su apoyo, interés y constante disposición a lo largo de la elaboración del proyecto. Agradecemos todas las herramientas y contactos brindados para el correcto desarrollo de esta ardua y enriquecedora tarea.

Agradecemos a todas aquellas personas que se involucraron y nos compartieron su tiempo, conocimiento y abordaron todas nuestras inquietudes. Dentro de estas personas, un especial agradecimiento a Alejandro Olivera y Gonzalo Mattos.

Por último, pero no menos importante, resta agradecerle a nuestras familia y amigos, por el apoyo constante que nos han brindado a lo largo en toda nuestra trayectoria estudiantil.

Resumen Ejecutivo

El presente informe corresponde al trabajo realizado como Proyecto de Grado de la carrera Ingeniería en Producción. Se expone una alternativa innovadora de trabajo, en la cual, empresas competidoras dentro del área forestal trabajan en conjunto con el fin de obtener un mayor beneficio que si trabajasen de forma separada. Esta nueva alternativa se denomina cooperación horizontal. La misma puede ser aplicada en distintos puntos del proceso productivo y de abastecimiento de las empresas. En este trabajo se considera únicamente la logística del transporte luego de realizada la cosecha. Para cumplir con el propósito planteado, se desarrolla y se aplica un modelo matemático el cual permite analizar la viabilidad de una cooperación entre dos grandes empresas del rubro forestal que se encuentran en el territorio uruguayo. Este, permite generar un pequeño porcentaje de intercambio de mercadería entre ambas empresas, teniendo así como función objetivo minimizar los costos generados por el transporte. El modelo representa un problema de grafos dirigidos, donde las zonas de cosecha y plantas son los nodos y las aristas son las distancias. Se busca minimizar los costos, utilizando restricciones que aseguren el cumplimiento de las necesidades de las empresas. La ejecución del modelo se realiza con el paquete de software GLPK. Para cargar los datos, se utilizan planillas Excel las cuales facilitan el ingreso y modificación de los mismos. Se elaboran nueve casos de prueba los cuales tiene como objetivo de validar el modelo. Luego, mediante un análisis de sensibilidad se evalúa el comportamiento del programa ante diversos escenarios. Asimismo, el punto de partida del proyecto es una extensa revisión bibliográfica. Se estudia la teoría detrás de este nuevo concepto de cooperación, así como los distintos campos de aplicación haciendo especial énfasis en el sector forestal y sus antecedentes. A medida que se fue indagando en los distintos estudios, se procedió a ir generando un estado del arte el cual sirve para futuros estudios relacionados a la temática. Para finalizar se puede concluir que en base a los datos asignados, el modelo resuelve que es beneficioso generar la cooperación. Se exponen oportunidades de mejora que pueden ser utilizadas como referencia y punto de partida para futuras investigaciones y trabajos.

Palabras claves: Cooperación Horizontal, Industria Forestal, Transporte, Investigación de operaciones.

Keywords: Horizontal cooperation, Forest Industry, Transportation, Operation research.

Índice general

1. Introducción	13
1.1. Motivación	13
1.2. Objetivos	14
1.3. Organización del documento	14
2. Marco Teórico	17
2.1. Cadena Forestal	17
2.1.1. Fase Primaria	18
2.1.2. Fase Secundaria	23
2.2. Tipos de transporte forestal	25
2.3. Sustentabilidad	28
3. Contexto forestal en Uruguay	33
3.1. Cifras del sector	34
3.2. Transporte Forestal en Uruguay	36
3.2.1. Transporte terrestre	37
3.2.2. Transporte fluvial	38
3.2.3. Transporte ferroviario	39
4. Estado del Arte	41
4.1. Juegos Cooperativos	41
4.1.1. Valor de Shapley	42
4.1.2. Nucleolus	42
4.1.3. EPM	43
4.2. Cooperación	43
4.2.1. Cooperación vertical	44
4.2.2. Cooperación lateral	45
4.3. Cooperación horizontal	46
4.3.1. Sector Forestal	48
4.3.2. Transporte Marítimo	52

4.3.3.	Transporte Aéreo	54
4.3.4.	Transporte terrestre	58
4.3.5.	Otras Aplicaciones	61
4.4.	Sustentabilidad	62
5.	Descripción del Problema	65
5.1.	Datos dados al problema	68
5.2.	Suposiciones	68
5.3.	Formulación Matemática	70
5.3.1.	Conjuntos y parámetros	70
5.3.2.	Variables de decisión	71
5.3.3.	Función objetivo	71
5.3.4.	Restricciones	71
5.4.	Relevamiento de datos	73
5.4.1.	Planes de cosecha	74
5.4.2.	Calculo de costos	76
5.5.	Escenarios	79
5.6.	Validación del Modelo	80
5.6.1.	Caso 1	81
5.6.2.	Caso 2	82
5.6.3.	Caso 3	82
5.6.4.	Caso 4	82
5.6.5.	Caso 5	83
5.6.6.	Caso 6	84
5.6.7.	Caso 7	84
5.6.8.	Caso 8	84
5.6.9.	Caso 9	85
6.	Análisis de resultados	87
6.1.	Caso sin cooperación	87
6.2.	Caso con cooperación	87
6.2.1.	Resultados de caso con cooperación	88
6.3.	Análisis de Sensibilidad	92
6.4.	Resultados enfoque sustentable	96
7.	Ejecución del proyecto y análisis financiero	99
7.1.	Puesta en marcha	99
7.2.	Riesgos laborales	102
7.3.	Proyecto de inversión	102
8.	Conclusiones y oportunidades de mejora	107

8.1. Conclusiones	107
8.2. Oportunidad de mejora y trabajos futuros	108
Bibliografía	111
A. Anexo I: Datos de problema	121
A.1. Código del problema con cooperación	121
A.2. Datos y resultados del problema	123

Índice de figuras

2.1. Esquema Cadena Forestal. Fuente: Elaboración propia.	18
2.2. Bosque luego de raleo y poda. Fuente: https://montesdelsur.com.uy	20
2.3. Bosque en cosecha. Fuente: https://montesdelsur.com.uy	21
2.4. Madera Borde de Camino. Fuente: http://www.phelox.com.uy/	21
2.5. Montes talados en cosecha. Fuente: https://montesdelsur.com.uy	22
2.6. Maquinas cosechas mecanizada. Fuente: https://montesdelsur.com.uy	23
2.7. Madera en aserradero. Fuente: https://www.forestmaderera.com	24
2.8. Pellets. Fuente: https://www.maderascepa.com/	24
2.9. Camión semirremolque. Fuente: https://www.faymonville.com/	25
2.10. Camión semirremolque biarticulado. Fuente: https://www.faymonville.com	26
2.11. Lumber carrier vessel. Fuente: https://www.marineinsight.com/	27
2.12. Locomotora dual Euro 4001. Fuente: https://www.stadlerrail.com/	28
2.13. Vagón de carga de tipo estaca. Fuente: https://www.freepik.es/	28
2.14. Implementación de normas Euro en vehículos pesados Diesel. Fuente: https://theicct.org/	29
3.1. Superficie planta de Pino y Eucalipto en porcentaje en 2012. Fuente: elaboración propia con datos de [1].	34
3.2. Porcentaje de extracción de Madera en Rollo por destino. Fuente: elaboración propia con datos de [2].	35
3.3. Porcentaje de exportaciones por productos. Fuente: elaboración propia con datos de [2].	36
3.4. Mapa Uruguay corredores autorizados. Fuente: http://www.intergremial.com	38
3.5. Barcaza forestal. Fuente: https://www.elobservador.com.uy/	38
3.6. Trayecto del proyecto Ferroviario Montevideo - Paso de los Toros. Fuente: https://www.uruguayxxi.gub.uy	40

4.1. Cantidad de nuevos casos de asma cada 100.000 personas debido a la exposición de NO ₂ . Fuente: https://www.sciencedirect.com/	63
5.1. Distribución de transporte sin colaboración. Las líneas azules y rojas representan el trayecto a la empresa A y B respectivamente. Fuente: elaboración propia.	66
5.2. Distribución de transporte con colaboración. Las líneas azules y rojas representan el trayecto a la empresa A y B respectivamente. Fuente: elaboración propia.	67
5.3. Imagen ilustrativa con datos de cosecha históricos de una de las empresas para el período de un año.	75
5.4. Zonas de cosecha de la empresa A y de la empresa B. Fuente: elaboración propia.	75
5.5. Distancia entre una zona de cosecha y una planta industrial.	76
5.6. Curva lineal de costos de transporte terrestre	77
5.7. Estimación de distancia recorrida por barcaza desde puerto a planta de la empresa B	79
6.1. Comparación de resultados obtenidos de costo total	88
6.2. Comparación de resultados obtenidos en barcazas utilizadas	89
6.3. Comparación de resultados obtenidos en kilómetros recorridos	90
6.4. Zonas de cosecha que intercambia empresa B que utiliza barcazas	91
6.5. Zonas de cosecha que intercambia empresa A	91
6.6. Tendencia de los ahorros según el porcentaje de colaboración.	92
6.7. Toneladas intercambiadas versus máximos a intercambiar.	93
6.8. Cantidad de Barcazas según porcentaje de intercambio.	94
6.9. Total de kilómetros según porcentaje de intercambio.	94
6.10. Etapa 1: Situación sin colaboración versus con colaboración. (De izquierda a derecha)	95
6.11. Etapa 2: Situación sin colaboración versus con colaboración (De izquierda a derecha)	96
6.12. Comparación de cantidad de kilómetros recorridos según el porcentaje de intercambio.	97
6.13. Comparación de cantidad de barcazas.	98

Índice de cuadros

2.1. Factores de emisión CO_2 (g de CO_2 /km). Fuente: http://www.caib.es	30
3.1. Porcentaje de Exportaciones totales en valor por productos. Fuente: elaboración propia con datos de [2].	36
5.1. Conjuntos del modelo	70
5.2. Parámetros del modelo	70
5.3. Restricciones del modelo	73
5.4. Costos transporte de una Tm de trozas cada 50 km	77
5.5. Coeficientes curva costos $y=m.x + c$	77
5.6. Pruebas de validación	81
5.7. Pruebas de validación 1	81
5.8. Pruebas de validación 2	82
5.9. Pruebas de validación 3	82
5.10. Pruebas de validación 4	83
5.11. Pruebas de validación 5	83
5.12. Pruebas de validación 6	84
5.13. Pruebas de validación 7	84
5.14. Pruebas de validación 7	85
7.1. Ilustración reducida de datos recibidos para la ejecución del programa	100
7.2. Planificación recolecta en situación de colaboración	101
7.3. Planilla de costos por personal	103
7.4. Cálculo estimado total de mano de obra	104
7.5. Flujo de fondos a 5 años del proyecto de inversión	105
7.6. Resultados de VAN y TIR obtenido de la herramienta Excel.	105
8.1. Oportunidades de mejora	109

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

En la década de los 80 se plantea la posibilidad de que en Uruguay se desarrolle una industria de fabricación de celulosa orientada a la exportación [3]. Esta decisión impulsó la generación de una ley que acompañe este desarrollo. Es por eso que en 1987, se promulga la Ley 15.939 [4], también conocida como “Ley de Desarrollo Forestal”. Esta normativa tiene como objetivo central lograr un manejo forestal sustentable, otorgando un marco regulatorio relevante para el sector [5]. Es así, que a partir de la década de los 90 el sector forestal ha tenido un crecimiento sostenido desde entonces.

Uno de los principales desafíos a los cuales se enfrenta el sector forestal es la logística del transporte. El transporte de madera en Uruguay representa dos tercios de los costos del sector [6], por lo que parece clave tratar de analizar alternativas que permitan reducir estos costos. Cabe resaltar que los costos no son el único factor de interés, las nuevas tendencias del siglo XXI requieren un desarrollo sustentable en los nuevos modelos de negocios e innovación [7]. Es una motivación poder desarrollar un trabajo que además de generar un beneficio económico, acompañe con beneficios para el ambiente.

Sumado a esto, se presenta la oportunidad de investigar sobre un tema poco profundizado en el país, como es la cooperación entre dos empresas competidoras para lograr un beneficio mutuo.

De esta forma, mediante el desarrollo de un caso de estudio aplicado a nuestro país, se genera la posibilidad de unir el concepto de cooperación con la logística del sector forestal.

1.2. Objetivos

Los objetivos generales de este proyecto son:

1. Revisión bibliográfica de los temas a tratar y elaboración de un estado del arte que sirva como punta pie para nuevas investigaciones.
2. Analizar metodologías que permitan identificar los ahorros que se producen si los operadores forestales cooperan para lograr mejores soluciones integrales.
3. Proponer un modelo matemático para establecer las distintas asignaciones de recursos.
4. Investigar posibles formas de asignar la distribución de los beneficios que se generen.

Luego, de manera más específica y detallada se plantean los siguientes objetivos a desarrollar en el presente informe:

1. Estudiar casos de estudio de cooperación horizontal enfocados en el sector logístico forestal.
2. Investigar y profundizar lo referente a la sustentabilidad en el sector.
3. Interiorizarse respecto a la logística forestal actual del país, leyes vigentes sobre transporte y datos relevantes.
4. Elaborar un caso de estudio aplicado a nuestro país.
5. Contactar y entrevistar a personas referentes en el sector.
6. Recabar datos para aplicarlos en el caso de estudio con el objetivo de representar de mejor manera la realidad.
7. Analizar resultados y evaluar la confiabilidad del modelo ante diferentes escenarios.
8. Aplicar conceptos y herramientas adquiridas a lo largo de la carrera que generen valor al proyecto.

1.3. Organización del documento

El presente documento se divide en ocho capítulos los cuales se comentan brevemente a modo de brindar una idea global del trabajo realizado.

En el **capítulo 1** se introduce el presente informe; la motivación, los objetivos y la organización del mismo.

En el **capítulo 2** se presenta un breve marco teórico respecto al sector forestal, se mencionan y explican las distintas etapas de la cadena forestal haciendo énfasis en el transporte.

En el **capítulo 3** se detalla el contexto forestal en el territorio uruguayo. Se exponen cifras y datos relevantes del área. Se presentan los distintos modos de transporte y se explican aquellos más utilizados en el sector.

Luego, el **capítulo 4** presenta el estado del arte, parte central del proyecto y el cual tiene como objetivo exponer la información que hay actualmente con relación a la cooperación, enfocándose en la cooperación horizontal y la asignación de costos en el sector forestal.

En los siguientes capítulos, el proyecto se enfoca en el problema a resolver. El **capítulo 5** expone una descripción del problema a tratar, se evalúan los distintos escenarios y se presentan los datos y costos. A su vez, se muestra la formulación matemática del problema; los conjuntos, restricciones, parámetros, variables de decisión y la función objetivo. Adicionalmente se presentan casos de validación los cuales permiten evaluar la validez del modelo.

Luego, el **capítulo 6** muestra el análisis de los resultados obtenidos así como el análisis de sensibilidad. Se presenta el caso sin cooperación y el caso con cooperación.

Posteriormente, en el **capítulo 7** se enuncian las habilidades blandas y el análisis financiero, los cuales ambos son necesarios para la puesta en marcha de cualquier proyecto.

Por último, en el **capítulo 8** se presentan las conclusiones del proyecto, así como oportunidades de mejora y posibles trabajos futuros relacionados con el tema.

Capítulo 2

Marco Teórico

En la presente sección se pretende brindar al lector una introducción conceptual respecto al sector forestal. Se hace énfasis en los principales procesos que suelen llevarse a cabo en el sector.

Se entiende por industria forestal a todas aquellas tareas necesarias para establecer, repoblar, gestionar y proteger los bosques, y al mismo tiempo hacer uso de sus productos. La industria forestal también incluye actividades como el transporte de la madera y todo proceso productivo que implique una posterior transformación [8].

Los bosques se pueden definir como asociaciones vegetales en las que predomina el arbolado que se encuentra en condiciones de producir madera, productos forestales, proporcionar abrigo o de ejercer alguna influencia en la conservación del suelo. [4].

2.1. Cadena Forestal

Según lo define la Sociedad de Productores Forestales [9], la cadena forestal se puede dividir en dos fases, una fase primaria y una secundaria. La fase primaria corresponde a la silvicultura, esta comprende la producción de material reproductivo y plantas en viveros, plantación, talas, raleos y cosecha (extracción). Luego la fase secundaria, o fase industrial, puede a su vez distinguirse en cuatro áreas industriales:

- Industria celulósica o papelera: Se encarga de la transformación de la materia prima para producir papel, cartón y celulosa.
- Industria madera sólida: Responsable de la transformación mecánica, con productos como la madera aserrada, los paneles contrachapados y tableros de madera.

- **Industria energética:** Industria vinculada a la generación de energía mediante la utilización de subproductos forestales tales como la biomasa forestal y subproductos de la transformación mecánica y química.
- **Industria química:** Comprende la transformación química, la cual abarca la producción de resinas, aceites esenciales y biorefinerías, entre otros.

Junto a estas dos fases principales hay varias actividades que juegan un rol fundamental en la cadena forestal y las cuales son transversales a toda la cadena. Dentro de estas actividades se encuentra la logística y el transporte, la investigación y desarrollo, los avances tecnológicos y por último la comercialización. La figura 2.1 muestra un esquema de la cadena forestal, teniendo en cuenta todos los actores mencionados.

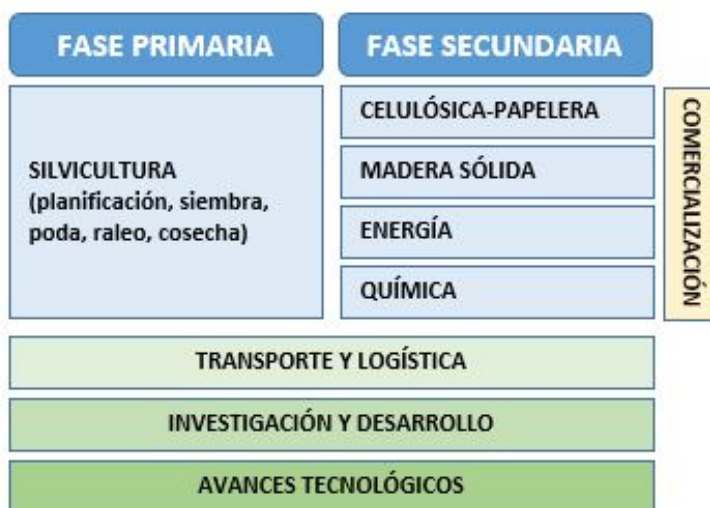


Figura 2.1: Esquema Cadena Forestal. Fuente: Elaboración propia.

2.1.1. Fase Primaria

La fase primaria comienza por la planificación de la plantación y termina en la cosecha. Según la RAE [10], la planificación es un *"plan general, metódicamente organizado y frecuentemente de gran amplitud, para obtener un objetivo determinado, tal como el desarrollo armónico de una ciudad, el desarrollo económico, la investigación científica, el funcionamiento de una industria"*. En esta fase, se busca eso, generar un plan el cual defina los pasos a seguir para poder gestionar de una manera eficaz y eficiente los recursos.

En esta fase, las planificaciones se definen según sus plazos; largo, mediano y corto. Estas también se denominan: planificación estratégica, táctica y operacional [11].

La **planificación estratégica** tiene un horizonte temporal de decenas de años, esta planificación conlleva decisiones importantes y complejas. Se busca obtener constancia en el tiempo para poder reutilizar los recursos y maximizar los beneficios [12]. Un ejemplo de decisión que se puede tomar en este tipo de planificación es la compra de terrenos o la construcción de rutas que permitan llegar a determinadas zonas. Son decisiones que implican grandes inversiones y tienen un gran impacto. Este tipo de planificación suele llevarse a cabo por la alta gerencia ya que conlleva mucha responsabilidad, experiencia y conocimiento.

Luego, la **planificación táctica** se ocupa de decisiones a mediano plazo, alrededor de 2 a 3 años. Al igual que la planificación estratégica, la toma de decisiones debe tener un sustento en el tiempo para no generar distorsiones en el entorno ni en los recursos utilizados [13]. Pedro Pantaenius en [14], describe que esta planificación depende en buena medida del tipo de bosque, de su madurez y de las decisiones administrativas del organismo de la ordenación forestal. Esta planificación debe contener una descripción detallada de las operaciones previstas. El plan debe ser compatible con los métodos de aprovechamiento respetuosos del medio ambiente. En este punto ya se comienzan a determinar las mejores técnicas de extraer la madera y evaluar todas las ventajas y desventajas de sus decisiones. [14]

Por último, en la **planificación operativa**, se planifican todas las actividades de tala, corte y extracción del bosque. Se define los requerimientos en las operaciones, análisis de tareas y necesidades. [12]. Este tipo de planificación es a corto plazo y por lo tanto más detallada y específica.

Luego de mencionar los distintos tipos de planificación que se llevan a cabo en la fase uno, resulta interesante profundizar en el concepto de silvicultura.

El proceso de silvicultura, comienza con la preparación del suelo, fertilización y plantación. Durante el crecimiento de los árboles, se hace un seguimiento y se realizan podas periódicas. Las podas consisten en la eliminación de las ramas vivas o muertas de la parte inferior del árbol, utilizando técnicas y herramientas adecuadas. Esta eliminación de ramas se puede realizar en una o más etapas, hasta alcanzar una determinada altura de poda. La eliminación de estas ramas genera trozas de mayor calidad y genera una disminución de nudos. También disminuye el riesgo de incendio en los montes [15].



Figura 2.2: Bosque luego de raleo y poda. Fuente: <https://montesdelsur.com.uy>

Dentro del proceso de silvicultura se encuentra el raleo pre-comercial, consiste en determinar aquellos árboles que están teniendo un mejor desempeño en cuanto a su diámetro, curvatura, nudos, etc., desechando los otros. De esta manera, los que se encuentran en mejores condiciones pueden seguir creciendo con mejor espacio, evitando la ramificación del árbol [5].

Al momento de definir cosecha se encuentran varias definiciones. Por ejemplo, en el artículo [16] un sistema de cosecha forestal se define como un conjunto de actividades, integradas entre sí, que permiten el flujo constante de madera evitándose los puntos de embotellamiento y llevando los equipamientos a su máxima utilización. La cosecha de madera abarca todas las actividades parciales desde la corta hasta que la madera es puesta en el patio de la industria consumidora.

Otra definición expuesta en el artículo [16] denomina a la cosecha forestal como el conjunto planificado de actividades relacionadas con el corte, procesamiento y extracción de trozas u otras partes aprovechables de los árboles, para su posterior transformación. Esta definición menciona la importancia de tener en cuenta los efectos a corto, mediano y largo plazo que estas acciones puedan generar sobre los recursos naturales.



Figura 2.3: Bosque en cosecha. Fuente: <https://montesdelsur.com.uy>

Parte fundamental de la cosecha es la tala, consiste en la eliminación de las ramas, el corte de las trozas de madera en medidas estandarizadas de 7,20 o 4,80 metros de largo para que puedan ser transportadas de forma más eficiente en los camiones.



Figura 2.4: Madera Borde de Camino. Fuente: <http://www.phelox.com.uy/>



Figura 2.5: Montes talados en cosecha. Fuente: <https://montesdelsur.com.uy>

En el artículo [5] se detallan 3 tipos de cosechas:

- Manual: Método tradicional, es intensiva en mano de obra, de baja productividad. Es de alta complejidad cuando se trata de cosechar grandes superficies.
- Semi Mecanizada: Combina corte, volteado y el desramado en forma manual. Los procesos de descortezado y trozado del árbol están mecanizados.
- Mecanizada: Incorpora la procesadora, la cual genera el talado del árbol y posteriormente lo descorteza y lo corta. Debido al crecimiento de las áreas a cosechar y su concentración entorno a grandes empresas demandantes de la materia prima, se utiliza esta máquina para automatizar al cien por cien la cosecha.



Figura 2.6: Maquinas cosechas mecanizada. Fuente: <https://montesdelsur.com.uy>

2.1.2. Fase Secundaria

En esta fase se pueden diferenciar 4 grandes grupos [17]:

- Industria celulósica - papelera:

La cadena celulósica - papelera, la cual incluye madera rolliza sin tratar, chips, pasta de celulosa, papel y cartón, es la de mayor peso dentro del sector. En las estadísticas de productos forestales de la FAO, este grupo abarca el papel recuperado, la pulpa de otras fibras distintas de la madera y la pulpa de madera utilizada para la fabricación del papel. Esta última incluye: pulpa de madera mecánica, semi-química y química.

El papel y cartón pertenecen a este grupo, lo conforman los papeles de escribir, prensa o para imprenta. También papeles y cartones de uso doméstico.

- Transformación mecánica (Madera sólida):

Son productos de madera elaborada tales como: madera rolliza tratada, madera aserrada, tableros, carpintería de obra, madera de embalaje, muebles y molduras.

Los tableros alistonados, puertas, ventanas, revestimientos de suelos paredes y techos, son ejemplos de productos que utilizan la madera aserrada como materia prima. [18]



Figura 2.7: Madera en aserradero. Fuente: <https://www.forestmaderera.com>

- Industria energética:

Esta industria, utiliza la madera en rollo como combustible. Se emplea para cocinar, calefaccionar o para la producción de energía eléctrica. Esta industria incluye la madera que se utiliza para hacer carbón vegetal y pellets de madera. La figura 2.8 muestra una imagen con pellets, método de calefacción cada vez más utilizado en las estufas eficientes.



Figura 2.8: Pellets. Fuente: <https://www.maderascepa.com/>

- Industria Química:

La industria química: incluye resinas, aceites esenciales, bioplásticos, biorefinerías, entre otras. Es una industria sin desarrollo, al momento, en Uruguay.

2.2. Tipos de transporte forestal

El transporte de trozas se realiza en su gran mayoría por vía terrestre utilizando camiones especialmente diseñados para transportar grandes cargas. Existen diversos modelos con diferentes especificaciones técnicas de los cuáles se mencionan los más utilizados:

- Tractocamión semirremolque:

Es la combinación de un vehículo motriz sin capacidad de recibir carga y un semirremolque, unidos por un dispositivo denominado quinta rueda. El semirremolque es un vehículo no motor diseñado para el transporte de carga. Este tipo de transporte soporta una capacidad máxima bruta ¹ de 48 toneladas [20]. La figura 2.9 muestra un ejemplo de camión semirremolque cargando trozas de madera.



Figura 2.9: Camión semirremolque. Fuente: <https://www.faymonville.com/>

- Camión semirremolque bi-articulado:

Vehículo combinado de carga. Consiste en una unidad tractora y al menos dos semirremolques que se articulan entre sí, mediante un sistema de enganche

¹El peso bruto se define como el peso neto más la tara, siendo la tara el peso del vehículo sin carga [19].

de quinta rueda, brindándole mayor estabilidad y control sobre el remolque trasero. La capacidad máxima de carga es de unas 75 toneladas brutas. [21]



Figura 2.10: Camión semirremolque biarticulado. Fuente: <https://www.faymonville.com>

Luego de trasladar las trozas por vía terrestre se puede seguir transportando por vías marítimas o férreas. A continuación, se mencionan distintos ejemplos:

- Lumber carrier vessels:

La mayoría de los transportadores de trozas solo tienen una plataforma. Los productos se almacenan dentro de bodegas especialmente diseñadas debajo de la cubierta, y también se pueden almacenar en la cubierta principal sujeto a restricciones de seguridad [22].



Figura 2.11: Lumber carrier vessel. Fuente: <https://www.marineinsight.com/>

- Barcaza:

Embarcación de carga diseñada para transportar pasajeros o mercancías a través de canales o ríos. Normalmente, son embarcaciones largas sin un mecanismo de autopropulsado, por lo tanto es trasladado por un remolcador de empuje [23].

- Ferrocarril:

Otra posibilidad de transporte de las trozas es por vía férrea. Este transporte se denomina ferrocarril y consiste en uno o más vagones unidos a una locomotora. La locomotora cumple la función de empujar y los vagones acoplados entre sí transportan la carga.

En la actualidad, existen locomotoras eléctricas o duales. La figura 2.12 muestra una locomotora dual, también denominada diésel-eléctrica. Estas, utilizan un motor diésel para accionar un alternador y generar la corriente que hace funcionar los motores de tracción que hacen girar las ruedas [24]. Por otro lado, existen diversos tipos de vagones utilizados para el transporte de carga. Por ejemplo, la figura 2.13 muestra un vagón de estaca abierto, este es especialmente utilizado para el transporte de tuberías, madera en rolo y aserrín. Es ideal para el transporte de trozas por su medida de hasta 19 metros [25].



Figura 2.12: Locomotora dual Euro 4001. Fuente: <https://www.stadlerrail.com/>



Figura 2.13: Vagón de carga de tipo estaca. Fuente: <https://www.freepik.es/>

2.3. Sustentabilidad

La sustentabilidad cobra cada vez más fuerza a medida que pasan los años. La problemática climática y ambiental ha pasado a ser un problema de interés global por lo que las empresas deben ser responsables frente al cuidado del medio ambiente.

La World Commission on Environment and Development define la sustentabilidad como el desarrollo sustentable el cual hace referencia a la capacidad que haya desarrollado el sistema humano para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer los recursos y oportunidades para el crecimiento y desarrollo de las generaciones futuras [26].

Otra definición con una visión más económica se presenta en el artículo [27]. En esta se expresa que la sustentabilidad es la habilidad de lograr una prosperidad económica sostenida en el tiempo protegiendo los sistemas naturales al mismo tiempo que se provee una alta calidad de vida para las personas.

Si bien se encuentran muchas definiciones, el concepto principal que se debe comprender es el de equilibrio. La sustentabilidad no pretende dejar de usar los recursos naturales disponibles, sino usarlos de manera inteligente.

Existen normativas que colaboran en la búsqueda de la sustentabilidad. En el caso del transporte terrestre, se rige por una normativa conocida como Euro. La primera normativa llamada Euro 1 entró en vigor en el año 1993 y desde entonces han incorporado nuevas normas más restrictivas hasta llegar a la Euro 6 [28]. Cada país maneja diferentes niveles de exigencia². En la figura 2.14 se expone una tabla en la que se muestra el año de implementación de normas Euro en distintos países [30].

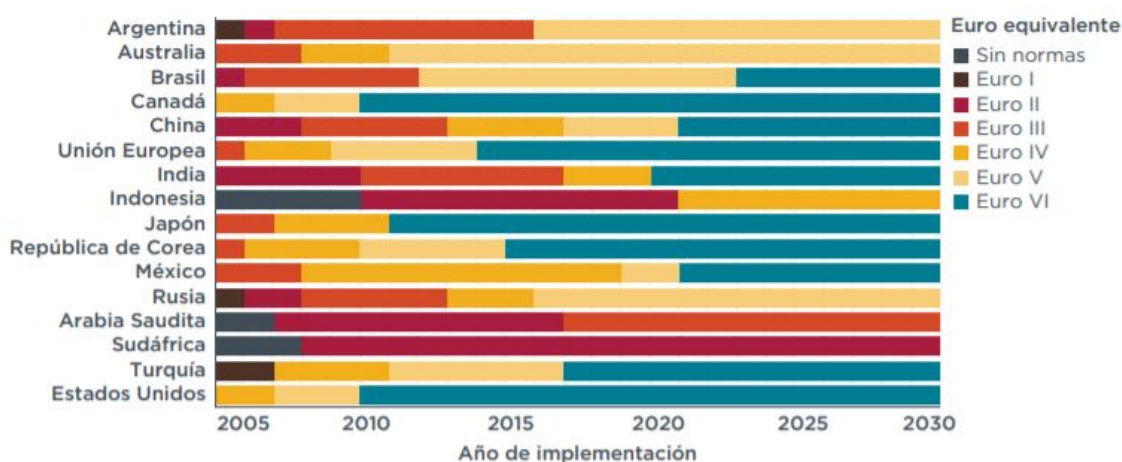


Figura 2.14: Implementación de normas Euro en vehículos pesados Diesel. Fuente: <https://theicct.org/>

Estas normas buscan reducir las emisiones de los gases definidos a continuación [31]:

- Monóxido de carbono (*CO*):
Es un producto de la combustión incompleta y ocurre cuando el carbono en el combustible se oxida parcialmente.
- Hidrocarburos (*HC*):
Son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hi-

²En Uruguay rige el decreto N° 111/008 del año 2008 que establece exigencias de Euro 3 [29].

drógeno. Las emisiones de hidrocarburos se generan cuando no se quema completamente el combustible.

- Óxidos de nitrógeno (NO_X):
Son precursores de ozono. Así mismo, con la presencia de humedad en la atmósfera se convierten en ácido nítrico, contribuyendo de esta forma al fenómeno conocido como lluvia ácida.
- Partículas (PM):
Este contaminante es uno de los que tiene mayores impactos en la salud humana. Ha sido asociado con un aumento de síntomas de enfermedades respiratorias, reducción de la función pulmonar, agravamiento del asma y muertes prematuras por afecciones respiratorias y cardiovasculares.
- Dióxido de carbono (CO_2):
El dióxido de carbono no atenta contra la salud pero es un gas con importante efecto invernadero que atrapa el calor de la tierra y contribuye seriamente al calentamiento global.

En la tabla 2.1 se muestran los datos publicados por la Guía práctica para el cálculo de gases de efecto de invernadero, en la cuál, se presentan los datos de emisión de bióxido de carbono por kilómetro de camión articulado según diferentes franjas de toneladas. Estos datos se usaran como referencia para el cálculo de emisión de CO_2 en la sección de resultados con enfoque sustentable.

Factores de emisión CO_2 (g de CO_2 /km)			
Tipo de Vehículo	Conducción Urbana *	Conducción Rural	Conducción InterUrbana
Articulado 28-34 [Tn]	1.134,53	724,08	631,00
Articulado 34-40 [Tn]	1.314,25	821,01	698,15
Articulado 40-50 [Tn]	1.454,85	917,20	770,83

Tabla 2.1: Factores de emisión CO_2 (g de CO_2 /km). Fuente: <http://www.caib.es>

* El tipo de recorrido urbano corresponde a rutas con una velocidad aproximada de 30 km/h, el rural de 60 km/h, y el interurbano a rutas donde el límite de velocidad es alrededor de los 100–120 km/h.

Por otro lado, una norma existente aplicable a cualquier industria, con miras a lograr la sustentabilidad, es la Norma ISO 14001. La misma tiene como objetivo proporcionar a las organizaciones los elementos de un sistema de gestión ambiental

eficaz que puedan ser integrados con otros requisitos de gestión y de esa manera ayudar a las organizaciones a lograr metas ambientales y económicas [32].

El sector forestal, al trabajar extensamente con recursos naturales debe tener muy presente estos conceptos y cumplir con las normativas vigentes.

Capítulo 3

Contexto forestal en Uruguay

El sector forestal en Uruguay está compuesto por distintas actividades que van desde la obtención de semillas y plantas, hasta el transporte final de los productos elaborados. [17]

Durante la últimas décadas, el desarrollo del sector forestal ha sido acompañado por políticas que han permitido lograr el desarrollo y crecimiento del sector. Desde el año 1987, junto a la Ley N° 15.939, se pudo dar un marco legal que dio forma a la política forestal nacional [9]. En esta se declara “*de interés nacional la defensa, el mejoramiento, la ampliación, la creación de recursos forestales, el desarrollo de industrias forestales y en general, de la economía forestal*”. Esta ley, otorga beneficios fiscales sobre las rentas y activos vinculados a las plantaciones y las tierras afectadas. Es la base para atender las necesidades de los proyectos forestales que fueron y se siguen desarrollando en nuestro territorio.

Según datos del 2020, Uruguay cuenta con más de 900.000 hectáreas de plantaciones forestales y se proyecta que en el 2030 se alcanzará el valor de 1.3 millones de hectáreas [33]. Adicionalmente, el país cuenta con 1.1 millones de hectáreas de bosques nativos, por lo que suma un total de 2 millones de hectáreas de bosques [34].

Actualmente, unas 25.000 personas en todo el territorio son empleadas por el área forestal [35] y se espera que este número siga aumentando debido al crecimiento del sector. Esta cifra representa el 1.5 % del empleo total del país [34].

En 2018, el sector forestal pasó a ser el principal rubro exportador del país. La celulosa es el principal producto exportado, superando levemente a la exportación de carne, con valores cercanos al 18 % del valor total exportado. Siguiendo con cifras del sector forestal, la exportación de madera alcanza un 5 % del valor total exportado [33].

En el 2019 se llegó a 3.8 % del PBI de Uruguay, según indica el grupo asesor Exante, en un reporte a fines de 2020 y debido a la nuevas inversiones que se está realizando en Uruguay, generará una participación del 6 % del PBI [36].

Los suelos utilizados para las plantaciones de los bosques suelen ser no aptos para el desarrollo de emprendimientos agropecuarios tradicionales. Para la plantación de bosques se pueden aprovechar terrenos más rocosos o arenosos y, aún así, obtener buenos resultados de la plantación. [5]

Los departamentos que cuentan con mayor superficie de bosques son Tacuarembó y Rivera. Le siguen en cantidad de hectáreas plantadas los departamentos de Paysandú y Río Negro. En la zona Este, el departamento de Lavalleja es el de mayor superficie plantada, seguido de Cerro Largo y Rocha. [5]

En Uruguay, las principales variedades de plantaciones son pinos y eucaliptus. Dentro de estas variedades las especies más utilizadas son *Eucalyptus Grandis*, *Eucalyptus Globulus*, *Eucalyptus Maidenii*, *Eucalyptus Dunnii*, *Pinus Elliotti* y *Pinus Taeda*. [34]

3.1. Cifras del sector

Según datos expuestos en el 2012, entre estas dos variedades, el porcentaje de Eucalipto en Uruguay era del 74 % mientras que los pinos ocupaban el 26 % [1].

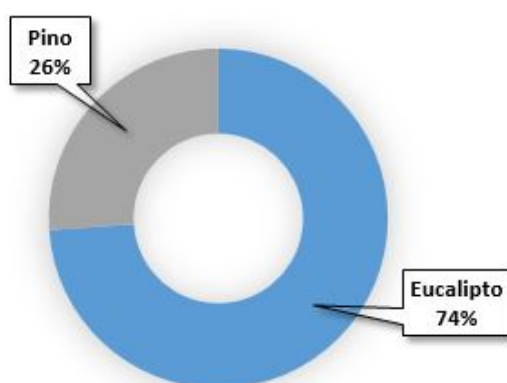


Figura 3.1: Superficie planta de Pino y Eucalipto en porcentaje en 2012. Fuente: elaboración propia con datos de [1].

Como se mencionó la sección 2.1, la cadena forestal tiene 4 industrias. En Uruguay la de mayor peso es la celulósica - papelera. Esta industria incluye madera rolliza sin tratar, chips, pasta de celulosa, papel y cartón [17].

Actualmente hay dos grandes empresas internacionales que son líderes en el rubro. UPM, que empezó a producir y exportar en el año 2007 y Montes del Plata, que en 2014 inició su producción. Con ambas empresas trabajando a su capacidad máxima, consumen casi 9.5 millones de toneladas de madera por año, transformándolas en 2.6 millones de toneladas de pulpa. La cadena de la celulosa representa un 77% del valor de las exportaciones del sector forestal [17].

Adicionalmente a estas dos plantas que operan actualmente, hay un proyecto en curso para la instalación de una tercer planta de celulosa en el departamento de Durazno. Esta planta, pertenece a la empresa UPM y se proyecta que en el segundo semestre del año 2022 se de comienzo a la operativa [37].

Si bien la celulosa es la principal área dentro del sector forestal, hay otra áreas que a su vez tienen importancia en nuestro territorio. Según las estadísticas forestales del 2020 los principales destinos de la madera en el año 2019 fueron los siguientes [2]:

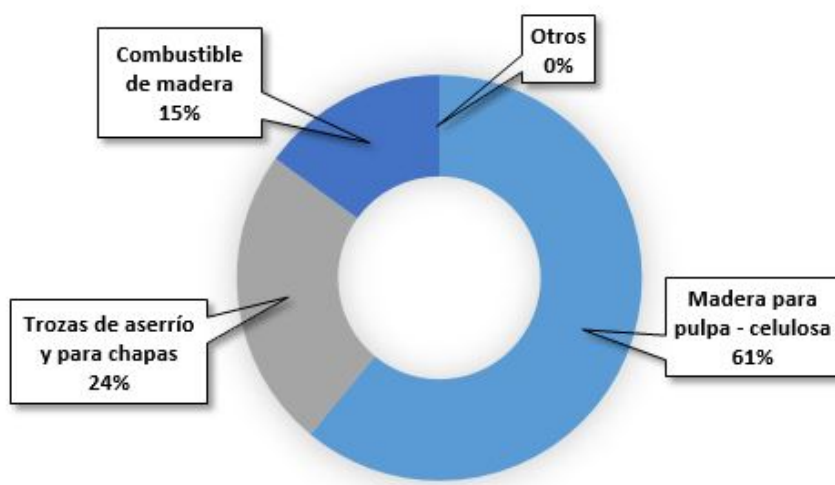


Figura 3.2: Porcentaje de extracción de Madera en Rollo por destino. Fuente: elaboración propia con datos de [2].

En cuanto a las exportaciones, como se mencionó anteriormente, el 77% de las mismas corresponden a celulosa. La tabla 3.1 y la figura 3.3 muestran los datos expuestos en el último informe estadístico forestal. [2]

Destino	Porcentaje %
Madera en rollo - celulosa	77,1
Madera aserradera	10,4
Tableros de madera y hojas de chapa	6,8
Astillas y chips	2,6
Productos papeleros secundarios	1,8
Otros	1,3

Tabla 3.1: Porcentaje de Exportaciones totales en valor por productos. Fuente: elaboración propia con datos de [2].

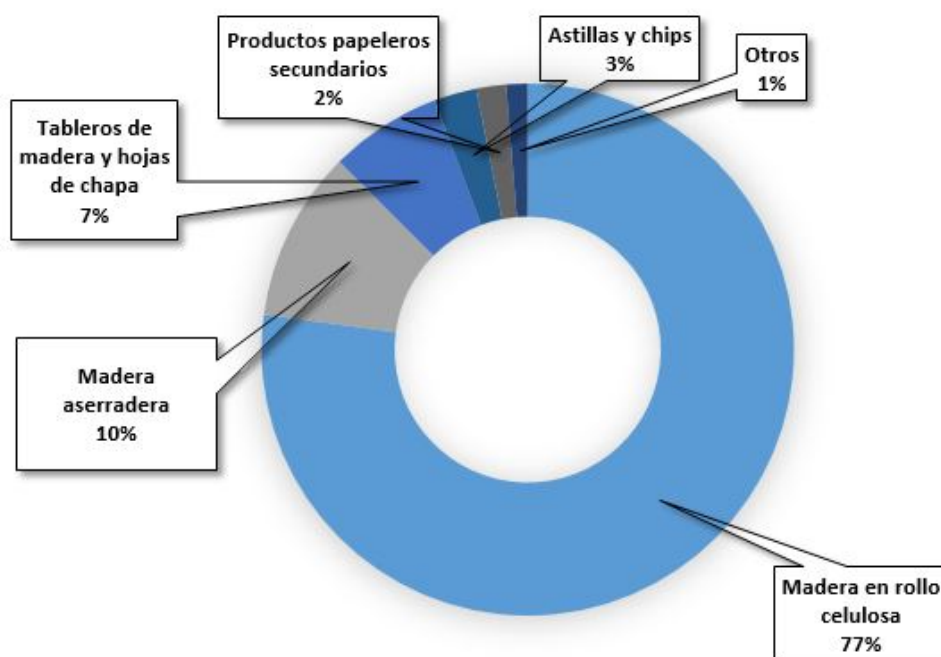


Figura 3.3: Porcentaje de exportaciones por productos. Fuente: elaboración propia con datos de [2].

3.2. Transporte Forestal en Uruguay

Como se mencionó en la sección 1.1, aproximadamente dos tercios de los costos del producto forestal uruguayo están vinculados a la logística. De estos costos, 70%

corresponden a transporte y caminería y un 30% a la cosecha [6]. Teniendo en cuenta estos altos porcentajes resulta lógico mejorar la competitividad y eficiencia del transporte para así lograr un mayor beneficio.

3.2.1. Transporte terrestre

El territorio uruguayo cuenta con 8.776 km de redes viales de los cuales 7.977 km están pavimentadas, lo que arroja un ratio de 45 km de carreteras pavimentadas por cada 1.000 km² de superficie. Uruguay se encuentra posicionado como el tercer país en América del Sur en calidad de sus carreteras. [38]

Actualmente, en Uruguay, el principal medio de transporte para el sector forestal sigue siendo el medio de transporte terrestre. En este sector se utilizan tractocamiones semirremolques (mencionado en la sección 2.2), los cuales pueden ser utilizados únicamente con el objetivo de transportar troncos de madera.

En Uruguay, estos vehículos, suelen cargar unas 30 toneladas de madera. Cada troza contiene agua en su interior la cual se va liberando a medida que pasa el tiempo luego de la cosecha. Esta pérdida de agua genera una variación considerable en el peso de la carga. Las empresas suelen dejar por un tiempo las trozas a borde de camino con el objetivo de que pierdan agua para evitar transportar mayor peso. Este tiempo está estandarizado debido a que tampoco es recomendable permitir que las trozas pierdan demasiada agua ya que es necesaria para la generación de celulosa.

Una restricción en el transporte terrestre es que no todas las rutas están habilitadas para el transporte de camiones de trozas debido al peso cargado. En Uruguay, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas es el organismo responsable de decretar que rutas están autorizadas para el transporte de los camiones de mayor volumen [39]. En la figura 3.4 se ilustra un mapa de Uruguay con los principales corredores autorizados para el transporte forestal.



Figura 3.4: Mapa Uruguay corredores autorizados. Fuente: <http://www.intergremial.com>

3.2.2. Transporte fluvial

Se le denomina transporte fluvial al traslado de mercadería de un lugar a otro a través de un río. Este medio de transporte se caracteriza por los grandes volúmenes de mercadería que puede transportar en un solo viaje.

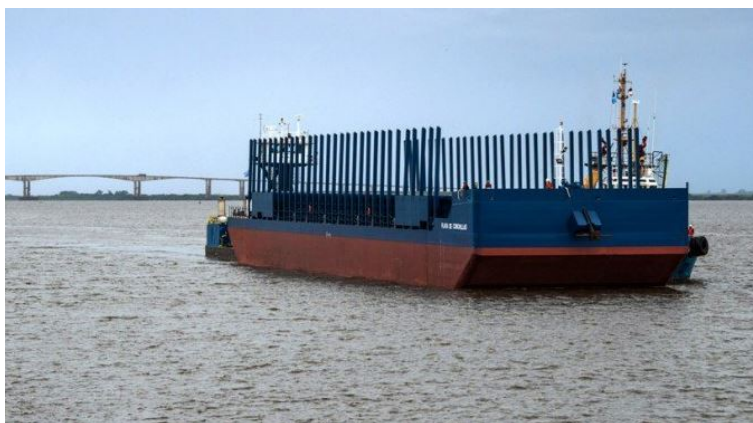


Figura 3.5: Barcaza forestal. Fuente: <https://www.elobservador.com.uy/>

Al igual que en el transporte terrestre, para trasladar la mercadería forestal, se utiliza un medio de transporte específico denominado barcaza. Las barcasas utilizadas en el territorio uruguayo pueden transportar hasta 5.000 toneladas en madera, lo que equivale a 170 camiones [1].

Este medio de transporte trae diversas ventajas, entre estas, se resalta el descongestionamiento de las rutas terrestres así como un menor impacto del deterioro de las rutas. Otra de las ventajas es la reducción de la huella de carbono y la reducción de los accidentes de tránsito.

3.2.3. Transporte ferroviario

Actualmente, el principal proyecto del sector ferroviario uruguayo es el proyecto Ferrocarril Central, a través del cual la red ferroviaria de Uruguay será fuertemente renovada [40]. Se proyecta que el tren esté funcionando en el primer semestre del año 2023.

El mismo consiste en la construcción y reacondicionamiento de 273 km de vías entre el puerto de Montevideo y Paso de los Toros, Tacuarembó (Figura 3.6) [40]. Asimismo, la rehabilitación de línea Rivera y la línea Litoral (que une Piedra Sola y Salto), consolida la ampliación de la oferta de transporte ferroviario, complementando los modos hasta ahora utilizados.



Figura 3.6: Trayecto del proyecto Ferroviario Montevideo - Paso de los Toros. Fuente: <https://www.uruguayxxi.gub.uy>

Este proyecto permitirá la circulación de trenes de carga los cuales soportan una carga de 22,5 ton/eje, con lo que beneficiará sensiblemente a emprendimientos agrícolas, mineros, industriales y forestales cercanos a la ubicación de las líneas férreas [40].

Este medio de transporte, al igual que el fluvial presenta varias ventajas con respecto al terrestre. Conservación de las rutas, descongestionamiento y reducción de accidentes de tránsito.

Capítulo 4

Estado del Arte

El propósito de este capítulo es exponer la revisión bibliográfica de lo investigado sobre el tema de cooperación entre empresas, haciendo especial énfasis en la cooperación horizontal. Naturalmente, al realizar un relevamiento de información, se expone en qué etapa de desarrollo se encuentra la temática, qué tanto se conoce, qué logros se han conseguido y qué aspectos aún no han sido abordados lo suficiente.

Es por esto, que este estudio es utilizado como punto de partida para nuestra investigación de proyecto de grado, y también así, ser de utilidad para futuras investigaciones.

En este documento se profundiza en la cooperación horizontal, se exponen las ventajas y desventajas, las distintas aplicaciones y los métodos más utilizados. Se analizan las distintas aplicaciones en diversas áreas de trabajo para entender el real alcance que tiene esta estrategia de trabajo. Cada área tienen sus particularidades por lo que resulta interesante estudiar cada una de ellas. Dentro de las áreas de trabajo, se da especial atención al área forestal.

4.1. Juegos Cooperativos

Para profundizar en los temas de mayor interés es necesario definir los conceptos de teoría de juegos, ya que se mencionan en el Estado del Arte. Al dar las siguientes definiciones se pretende que el lector pueda tener una lectura más fluida.

La teoría de juegos es una rama de la matemática utilizada con recurrencia, principalmente en la economía, esta estudia la toma de decisiones en situaciones con varios jugadores en las que las decisiones de uno de ellos, dependen del conjunto de acciones tomadas por los demás jugadores. Es así, que cada vez que un jugador tome

una decisión debe tener en cuenta cómo esta se relaciona con las decisiones de los otros.

Esta área utiliza distintos modelos para estudiar la toma de decisiones y las interacciones que se generan entre los jugadores.

Clásicamente, se distinguen los juegos cooperativos y juegos no cooperativos. Los primeros son los que analizaremos. Estos son útiles para analizar situaciones en las que las reglas de interacción no son claras y se enfocan en los resultados en términos de lo obtenido por los agentes agrupados en coaliciones. En cambio, los no cooperativos se enfocan en el estudio de las acciones individuales.

En la teoría de juegos cooperativos existen varias metodologías que se utilizan para el problema de asignación de costos. Este problema surge cuando varias personas o empresas deciden trabajar conjuntamente para obtener un beneficio, generalmente reducir costos.

La elección del mejor método de asignación depende de varios factores: la situación en la que se sitúa el problema, las ideas de los participantes respecto a la justicia del resultado, el peso de los participantes dentro del grupo, la dificultad para aplicar y entender el método, entre otros factores que se deben analizar para generar una correcta asignación de costos. Los métodos más conocidos y utilizados son los mencionados a continuación.

4.1.1. Valor de Shapley

Es el valor que mide el peso de cada jugador en un juego cooperativo para que la cooperación global funcione [41]. La sumatoria del valor de Shapley de todos los jugadores suma uno. Por lo que es fácil comparar la importancia de los jugadores en el juego, a mayor valor, mayor es la necesidad que ese jugador permanezca en la colaboración.

Mikael Frisk et al. en [42] muestra que la solución que proviene de este método es única; generalmente se puede garantizar que esta solución es estable.

4.1.2. Nucleolus

Como se explica en el artículo [42], este método identifica en la asignación un costo que minimiza la peor in-equidad para que cada individuo este satisfecho. Apunta a minimizar la insatisfacción de cualquier coalición. Por lo tanto, apunta a aumentar el grado de conformidad de los jugadores que pertenecen al conjunto. El resultado del Nucleolus existe, es único y representa una asignación de costos estable.

4.1.3. EPM

Esta asignación se menciona en el artículo [42]. Lo que busca es proporcionar un beneficio relativo lo más igual posible entre todos los participantes. Es decir, que los beneficios de los jugadores en la participación es porcentualmente similar para todos, es una de las asignaciones más simples para calcular. Por esta distribución, resulta más sencillo que todos los involucrados estén de acuerdo con el resultado.

4.2. Cooperación

La Real Academia Española define cooperar como el “*obrar juntamente con otro u otros para la consecución de un fin común*” [10]. El fin común del proyecto, es generar mayores beneficios colaborando, en comparación con trabajar de manera independiente. Estos beneficios pueden ser tanto económicos, competitivos o ambientales.

Como plantea Shan Wanga y Norm Archerb en [43], la cooperación es un esfuerzo de dos o más organizaciones para lograr resultados que las empresas no pueden lograr trabajando de forma aislada. La colaboración ha sido ampliamente discutida en una variedad de disciplinas, como en economía de costos de transacción, marketing relacional, sistemas interorganizacionales, gestión estratégica, gestión de la cadena de suministro y sociología.

La cooperación implica una colaboración, contribución o asistencia entre empresas. Esta puede darse en cualquier ámbito; se habla de cooperación ambiental, militar, económica, judicial, entre otras.

Lei Xu y Benita Beamon en [44] definen la cooperación como “*una respuesta estratégica a los problemas que surgen de las dependencias interorganizacionales*”. Dada la creciente importancia del suministro de alto rendimiento y las ventajas que se obtienen a través de la coordinación de la cadena de suministro, el desafío para una organización es cómo seleccionar el mecanismo de coordinación apropiado para gestionar estas interdependencias. Por definición, hay varias personas, entidades y procesos diferentes que interactúan para ejecutar los objetivos de la cadena de suministro. Los mecanismos de coordinación, entonces, proporcionan herramientas para gestionar eficazmente estas interacciones. Dichos mecanismos pueden diferenciarse sobre la base de cuatro atributos: estructura de intercambio de recursos, estilo de decisión, nivel de control e intercambio de riesgo - recompensa.

Los autores Franciscus Cornelis et al. [45] sostienen que para que exista una cooperación tiene que existir una relación personalizada basada en la mutua confianza, apertura, riesgo y beneficios compartidos. Se busca una ventaja competitiva que resulta en un desempeño mayor que el que alcanzarían las empresas individualmente.

La cooperación, según describe Presta en [46], siempre fue un elemento esencial para la producción. La forma no es la misma en todos los casos, varía y está asociada a los cambios en la división del trabajo y las tecnologías, dependiendo del contexto histórico determinado. Dentro del análisis que realiza Presta se nota el cambio, avance y los beneficios que ha tenido la cooperación dentro las organizaciones.

En sus comienzos, la investigación y aplicación de las colaboraciones entre empresas, se centraba únicamente en algunos puntos de la cadena de suministro. En las últimas décadas, el contexto es distinto, hoy en día se busca abarcar toda la cadena. Esto se debe a factores como el aumento de competitividad, requerimientos ambientales, incremento en el nivel de satisfacción de cliente, entre otros. Por esto, se plantea la idea de generar colaboraciones con organizaciones que pertenecen al mismo nivel de la cadena con el fin de optimizar recursos.

Los investigadores Robert Axelrod y Martin Nowak desarrollan la denominada Teoría de la cooperación la cual sostiene que existen cuatro condiciones esenciales para la lograr la cooperación entre dos interesados:

1. Ambos comparten un objetivo alcanzable.
2. Posibilidad de una relación futura.
3. Recuerdos positivos de encuentros pasados entre ambos individuos.
4. Que el resultado sea tan importante tal que la cooperación sea tolerable.

El Dilema del Prisionero es un problema fundamental de la teoría de juegos planteado por el matemático Merrill Flood Meeks en el año 1950. Este problema prueba que dos individuos pueden escoger no colaborar incluso si esto se opone al interés personal de cada uno. Es interesante este problema debido a su simpleza y a la gran aplicación que tiene, ya que se puede trasladar a varios problemas de la vida cotidiana.¹

Las colaboraciones se pueden dividir en 3 categorías: vertical, lateral y horizontal. La vertical, ha sido el foco de varios esfuerzos de investigación y es donde se tiene un avance mayor. Sin embargo, la literatura sobre cooperación horizontal todavía está en sus comienzos.

4.2.1. Cooperación vertical

La cooperación vertical es conocida comúnmente como gestión de la cadena de suministro. Este concepto nació en el año 1982 en una entrevista realizada por Arnold Kransdorff en el periódico “The Financial Times” al consultor Keith Oliver el cual definió este concepto como *la integración de procesos de negocio clave, desde el*

¹Se puede ver en profundidad el dilema del prisionero en [47].

usuario final a los proveedores primarios que proporcionan productos, servicios e información que agregan valor a los clientes y otras partes interesadas.

En la década de los 90, se empezaron a realizar numerosas investigaciones respecto al tema. Esto se vio motivado principalmente por las nuevas herramientas tecnológicas disponibles. La gestión de la cadena de suministro se define como el conjunto de enfoques utilizados para integrar de manera eficiente a proveedores, fabricantes, almacenes y tiendas, de modo de que la mercancía se produzca y distribuya en las cantidades, destino y momento correcto, para minimizar los costos y satisfacer un nivel de servicio esperado. Esta definición indica que la gestión de la cadena de suministro tiene como objetivo la instalación de cooperaciones beneficiosas y vínculos interrumpidos entre las empresas que operan en distintos niveles de la cadena.

Las principales motivaciones de este tipo de cooperación es la reducción de inventario y de transporte, mejor uso de la información disponible y optimización en el uso de las instalaciones logísticas y de los equipos. [45]

El objetivo de la cooperación vertical tiene que ser el beneficio de toda la cadena de suministro a partir de trabajar en conjunto, a diferencia de la manera tradicional de trabajo en la cual cada eslabón de la cadena se ocupa y preocupa únicamente por su beneficio propio. Trabajando de esta manera se llegan a mejores beneficios tanto globales como individuales.

Algo interesante a resaltar es la importancia de contar con la aprobación vertical para poder implementar con éxito una cooperación horizontal. Esto se debe a que las diferencias en las posiciones de negociación se manifiestan principalmente a lo largo de los enlaces verticales en las cadenas de suministro, en lugar de en los enlaces horizontales. Por lo tanto, la aprobación vertical por parte del minorista es esencial cuando los proveedores consideran iniciar una cooperación horizontal. [45]

Como se menciona en el artículo [44], en la actualidad, los tiempo de entrega y los estándares de calidad han hecho que las empresas se vean presionadas por generar coordinaciones para mantenerse competitivos en el mercado. Cómo elegir los socios resulta un tema central ya que va a determinar en gran medida el éxito o fracaso de la coordinación. A su vez, se mencionan los distintos costos a evaluar: de riesgo oportunista, de riesgo operacional y de coordinación. Las empresas deben buscar minimizar la suma de estos costos para obtener mayores beneficios. El ambiente en el que se encuentre la empresa también es un factor a tener en cuenta.

4.2.2. Cooperación lateral

Simatupang and Sridharan [45] define la cooperación lateral como una “*cooperación que busca ganar flexibilidad mediante el intercambio de capacidades de manera ver-*

tical y horizontal". El objetivo de las cooperaciones laterales es sincronizar a los transportistas y proveedores de múltiples empresas en una red logística efectiva. La colaboración horizontal ocurre entre compañías al mismo nivel de la cadena de suministro, la vertical en distintos niveles; mientras la colaboración lateral es la combinación de los beneficios y las capacidades de ambas.

La colaboración lateral que se describe en el artículo [48], agrega que la logística integrada y el transporte intermodal son ejemplos de la aplicación de la integración lateral que tienen como objetivo sincronizar los transportistas y expedidores de empresas múltiples en una red de transporte de mercancías eficaz y sin fisuras.

Según comenta Felix T.S. Chan et al en [48], en un caso de estudio a una empresa manufacturera la cual busca reducir los costos de inventario, se realiza una comparativa en relación con la cooperación horizontal y lateral. En la cual concluyen que la cooperación horizontal en porcentajes de ahorro -o beneficios- es similar, o mayor en algunos casos. Resaltan que es más beneficioso la cooperación lateral debido a las flexibilidades que le brinda comparándolo con la horizontal.

4.3. Cooperación horizontal

La cooperación horizontal ha sido foco de estudios por lo que resulta interesante ver cómo ha ido evolucionando en estos últimos años, cuáles han sido las principales motivaciones y limitantes, qué queda por estudiar, en qué áreas se ha aplicado y sus resultados.

En 2001, la Unión Europea define la cooperación horizontal como una práctica establecida entre empresas que operan en el mismo nivel de un mercado. Estas empresas pueden ser competencia o no estar relacionadas, pero comparten información, instalaciones o recursos con el fin de reducir costos y/o mejorar sus servicios [45].

En 2006, Crusijssen et al. [45], definen la cooperación horizontal como la cooperación activa y coordinación entre dos o más empresas que operan en el mismo nivel de la cadena de suministro. Sitadewi et al. [49] agregan a esta definición la búsqueda de un mejoramiento del rendimiento y la eficiencia de la cadena.

Este tipo de cooperación, si es empleada correctamente, puede traer grandes ahorros a la cadena productiva o de suministro. Al mismo tiempo, permite ayudar a los proveedores y servicios logísticos a operar de manera más eficiente. El artículo [45] sostiene que la mejor estrategia para obtener los objetivos deseados es generar situaciones ganar-ganar entre las empresas comprometidas para que de esta manera aumente el rendimiento.

Felipe Mautone y Pablo Rodriguez [50] sostienen que estas relaciones de beneficio

mutuo entre empresas trae un beneficio adicional debido a que no solo se pueden obtener ahorros en los costos, sino que también se puede lograr una reducción de las emisiones de CO₂.

Para que la cooperación horizontal sea un éxito o un fracaso, hay varios factores que así lo determinan. El artículo [45] expresa que el 70 % de los intentos de cooperación horizontal fracasan por algún motivo. Esta reciente estrategia suele ser una tarea incierta en la cual es difícil planificar las tareas requeridas y en la que se pueden dar varias situaciones de oportunismo de parte de alguno de los involucrados.

La transición a esta nueva estrategia de negocio y operación conlleva un importante cambio de mentalidad, de cultura y de comportamiento. Los involucrados deben estar abiertos al cambio.

Alguno de los impedimentos y amenazas para el éxito de la colaboración, se pueden encontrar en el artículo [45]:

- Socios: La correcta elección de un socio es algo de vital importancia. Los costos asociados a buscar un buen socio suelen ser altos por lo que esto es un obstáculo para pequeñas y medianas empresas.
- Determinación y división de las ganancias: Una distribución justa es un aspecto de gran importancia. Sin embargo, la desconfianza que hay sobre la equidad de la asignación aplicada puede generar problemas.
- Negociación y coordinación: El poder de negociación de los socios es la clave para definir si una cooperación puede o no conducir a una adquisición. Los procesos de negociación siempre deben dar lugar a una situación de ganar-ganar de lo contrario la cooperación no podrá mantenerse por un período de tiempo largo.
- Tecnologías de la información y la comunicación (TIC): Esta área suele ser un problema para las cooperaciones de mediana y baja intensidad. Esto se debe a que estas no suelen requerir inversiones en TIC y las de alta intensidad generan ingresos suficientes para pagar dichas inversiones.

Por otro lado, en el artículo [45] se resaltan varios factores “blandos” que pueden desempeñar un papel importante en el éxito de una cooperación. Al igual que los impedimentos, los facilitadores se pueden agrupar en cuatro áreas:

- Compartir información: La información compartida se traduce en reducción de costos tanto de transporte como de almacenamiento. Sin embargo, es uno de los aspectos más complejos de lograr. La información a compartir puede ser niveles de inventario, órdenes de transporte, datos de venta, horarios de producción, capacidad de producción y métricas de rendimiento. Mientras más información

se comparta entre los involucrados, mejor será el resultado de la cooperación. Por ejemplo, el artículo [51] realiza un análisis extenso de la importancia de compartir información entre transportistas, este trabajo muestra los diferentes escenarios y una de las conclusiones a las que llega es que para que la ganancia total de la colaboración sea positiva por lo menos el 50 % de los involucrados deben presentar un plan completo de sus ruteos.

- **Alineamiento de incentivos:** Los socios deben trabajar en conjunto para lograr los objetivos comunes y no centrarse únicamente en sus beneficios individuales. Debe haber un fuerte sentimiento de compartir costos, riesgos y beneficios. La confianza es un facilitador fundamental. Tiene que haber ayuda mutua e interdependencia.
- **Gestión de relación y contratos:** Para conseguir un beneficio colectivo, un contrato abierto es el más adecuado para la cooperación horizontal. A su vez, se deben tener las expectativas claras.
- **Tecnología de la información y comunicación:** Las nuevas tecnologías facilitan enormemente la comunicación entre empresas. Se logra un reducción en los costos y riesgos de transacción.

Una de las dificultades que se presenta en las colaboraciones, principalmente en la horizontal, es el desafío de compartir información confidencial entre empresas y más aún si se trata de empresas que tratan con el mismo mercado tal como lo plantea la cooperación horizontal. Este punto lo detallan Johan Los et al. en [51]. Se aclara que la cooperación puede generar aumento de la ganancias, pero requiere compartir información confidencial y no todos están dispuestos, sobre todo las empresas grandes. El artículo [42], escrito por Frisk et al., resalta las dificultades que implican que la colaboración sea total, ya que los planificadores no quieren revelar información de oferta, demanda y costo a los competidores.

El artículo [45] busca ser un punto de partida para futuros estudios al hacer un análisis sobre las investigaciones relacionadas a la colaboración horizontal en transporte y logística. Se presentan los tipos de cooperación y se establece aspectos determinantes para lograr que estas alianzas estratégicas sean exitosas.

4.3.1. Sector Forestal

Según distintos estudios recaudados por los autores en [52], la colaboración logística en el sector forestal genera ahorros del 6 % al 22 % en los costos totales. Este sector se ha internacionalizado e industrializando cada vez más y con mercados a su vez más complejos. La demanda y las posibilidades de exportación han aumentado, por lo tanto, actualmente el perfeccionamiento en la industria es más exigente en

comparación a décadas pasadas [13].

Debido a lo mencionado anteriormente, la reducción de costos para las empresas y transportistas es el tema central, por lo tanto podemos dividir las investigaciones del sector forestal en dos grandes tópicos. El primer problema sería la configuración de la coalición que minimice el costo total y el segundo problema es la asignación de los costos.

Gran parte de la literatura que se encuentra disponible hoy en día sobre la cooperación horizontal en el sector forestal, trata sobre la asignación de costos, suponiendo así que las coaliciones ya han sido formadas, cuando en la realidad, la formación de las mismas puede presentar varias dificultades y trabas, por lo que antes de asignar los costos debemos asegurarnos de generar las correctas coaliciones.

En el año 2018, Mario Guajardo et al. [53] expresan esta misma inquietud. Es por esto que en este artículo presentan el problema en el que cualquier empresa puede participar en más de una coalición (denominado coalición superpuesta), concepto que resulta más flexible que una coalición tradicional.

El punto de partida es el conocido problema de transporte, en el que se debe suministrar un conjunto de puntos de demanda desde un conjunto de puntos de suministro al costo mínimo. El problema consiste en encontrar una configuración de coalición y un plan de transporte que minimice el costo total, al tiempo que respeta la disponibilidad de suministro, los requisitos de demanda y los límites superiores en el número de colaboradores por compañía.

Para este análisis, los autores toman un caso real con 27 empresas del sector forestal en Suecia, 200.000 viajes y 6 millones de toneladas de biomasa forestal transportadas. Algunas de ellas con operaciones en todo el país y otras en pequeñas áreas. Es lógico pensar que las grandes empresas van a pertenecer a más de una colaboración.

Para la definición de las coaliciones los autores toman dos estrategias:

- Por áreas: El suministro y los puntos de demanda de las empresas se asignan a las áreas de antemano y se buscan estructuras de coalición dentro de cada área por medio de modelos lineales enteros. Como resultado, las empresas con operaciones en más de un área pueden ser asignadas a más de una coalición. Este modelo logra un ahorro del 6,7 % respecto al no colaborativo.
- Por configuración de coalición en el problema de transporte: Modelo lineal entero mixto. Este enfoque proporciona las mejores soluciones, logrando ahorros de hasta 8,1 % con respecto al costo no colaborativo

En 2010 los autores Frisk et al en [42] proponen el concepto de “trueque” en este sector. Debido a la alta complejidad de la colaboración entre empresas, principalmente

debido a la resistencia que presentan las grandes empresas para compartir información con la competencia, se propone el trueque como intercambio. Por lo general en el sector forestal, las trozas se transportan en un tamaño estándar, por lo tanto no sería un problema cruzar materia prima. El trueque que se propone es con volumen fijo, así no se revela información sobre ventas totales de la empresa lo que permitiría una fluidez mayor en el intercambio de información. Otra característica que presenta el trueque es que no es aplicado a más de dos empresas simultáneamente ya que se torna demasiado complejo.

Otro concepto interesante para la coordinación que mencionan Frisk et al [42] se trata del “backhauling”. Lo que se busca con este concepto es evitar que el camión viaje vacío al retornar, por lo tanto se busca planificar las rutas de tal modo que los proveedores puedan aprovechar ese trayecto sin mercadería. Este concepto tiene como objetivo principal la eficiencia y lograr un impacto positivo para el medio ambiente. En el artículo [54], se sostiene que el backhauling se puede usar para encontrar mejores rutas al combinar dos o varios puntos de demanda.

Como mencionan Carlsson y Ronnqvisten en [55] el backhauling es incluido en el planeamiento táctico. El principal desafío que presenta el concepto de backhauling en el área forestal es el tipo de transporte que es utilizado, se usan camiones que sirven únicamente para transportar troncos. Esta restricción inhabilita la posibilidad de hacer backhauling con otra área como puede hacerse en otros sectores industriales.

Los autores toman como punto de partida estudiar los costos de la estructura sin backhauling, es decir con los camiones vacíos al retorno. De esta manera tendrían un punto de comparación para las nuevas alternativas. Es lógico que para recoger mercadería a la vuelta los transportistas tengan que desviarse en cierto punto lo que puede implicar un costo extra. Lo que se busca es analizar si este costo extra es inferior a transportar el camión vacío.

Para el estudio de este problema, los autores plantean un modelo matemático de programación lineal con distintos puntos de demanda y abastecimiento para así poder llegar y analizar la solución óptima.

Los resultados numéricos de este problema muestran grandes beneficios y potenciales ahorros tanto en los costos directos como en la disminución de la contaminación.

Para la asignación de costos, en 2010 Frisk et. al. [42] presentan el siguiente caso de estudio en el cual evalúan distintos métodos de teorías de juegos para analizar cuál resulta más beneficiosa para los integrantes de la cooperación. El caso de análisis es realizado en el sur de Suecia, con ocho empresas forestales (incluye información sobre el tiempo, desde/hacia los nodos, el volumen y el surtido), se toma como dato conocido que el ahorro que se logró debido a esta cooperación fue del 14 %.

Lo que se quiere evaluar es el mejor modelo para repartir estos ahorros entre las

ocho empresas. Se dice que un modelo es eficiente si todos los participante terminan pagando un costo menor al que pagarían individualmente.

Los métodos presentados en este análisis son Shapley, Nucleolus, método de igual beneficio (EPM), asignación basada en costos, asignaciones basadas en costos separables y no separables y asignación basada en precio sombra. Luego de aplicar estos distintos métodos se concluye de que la mejor asignación de costos para este caso en particular es el método EPM. Este método lo que busca es una asignación estable, tal que la diferencia máxima en el ahorro relativo por pares se minimiza.

En 2018 Joen Dahlberg et al. [56] toman la situación planteada anteriormente en [42]. Se presenta un método donde se invita a los transportistas a participar de la colaboración. Estos son elegidos y se les plantea un plan de ahorros de costos. La idea es generar una cadena de empresas que se unen a colaborar con la condición de que disminuya su costo de transporte y que no aumente el costo a las partes que ya están involucradas.

La búsqueda principal es evaluar los distintos modelos (EPM, Nucleolus, Shapley, combinado con diversos métodos de asignación) con el objetivo de ver de qué manera se puede lograr una colaboración que involucre a la mayor cantidad de participantes y cumpla con los requisitos de ahorro continuo al adicionarse cada nuevo integrante.

Uno de los resultados planteados expone que la localización y el tamaño de las empresas involucradas afecta directamente los resultados. El escenario ideal es que haya poca superposición de áreas entre las empresas, y a su vez que entre todas sumen la mayor cantidad de superficie posible.

Como conclusión final, se llega a que en este caso en particular, el método de Shapley y Nucleolus son las mejores alternativas suponiendo que hay una empresa líder y esta se encuentra ubicada en el área periférica.

En 2018, Frisk y Rönnqvist en conjunto con distintos autores, presentan un nuevo caso de estudio para la asignación de costos [52]. En este caso se pretende asignar los costos a todos los miembros de una logística colaborativa para una red de 12 aserraderos escandinavos que cooperan juntos con una empresa de adquisición externa. La colaboración en este caso resulta en un ahorro del 3,3% para la red.

Se comprueba que la utilización de una teoría de juegos colaborativa, genera ahorros globales en costos de transportes. Dependiendo de la asignación de costos que se tome, individualmente puede generar una pérdida o una ganancia. Luego de analizar Shapley, Nucleolus, EPM y EPMm se llegó a la conclusión de que en el único caso donde todas las partes se ven beneficiadas es aplicando el EPMm (versión modificada del EPM el cual permite reasignar el costo de la solución de colaboración de tal manera que el costo de todos los aserraderos se reduce con respecto a su costo directo en ausencia de colaboración, a la vez que se sigue asegurando la estabilidad

de la cooperación).

Una vez más, en 2015 los autores Flisberg et al. [57] plantean un nuevo caso de estudio del sector forestal, pero en este caso para la generación de biocombustible. Para este estudio se consideran todos los transportes registrados de combustible forestal en Suecia en el año 2012. En total fueron 200.000 viajes realizados por 61 empresas transportistas registradas, desde 58.000 sitios de cosecha o terminales a 647 puntos receptores (terminales o plantas de calefacción). En este artículo, los autores analizan alternativas para reducir los costos logísticos. Estas incluyen la reprogramación de las operaciones de cosecha y astillado en relación con el transporte.

La conclusión principal que se obtuvo a partir de este estudio es que las empresas deben colaborar más. Los resultados numéricos muestran que 5,46 % del ahorro se puede lograr optimizando el transporte dentro de cada empresa, 3,40 % al reprogramar las operaciones, 6,81 % al agregar diferentes surtidos y 5,99 % mediante una colaboración.

4.3.2. Transporte Marítimo

El sector marítimo se ha caracterizado históricamente por manejar un comportamiento cooperativo. Por un lado, con colaboración e integración vertical dada por colaboraciones entre puertos y navieras. Por otro lado, con colaboración horizontal en el cual las navieras se presentan como los principales actores en el escenario de cooperación marítima [58].

Las empresas de transporte marítimo de línea tienen una historia de cooperación y el ejemplo más destacado son los acuerdos de fijación de precios entre ellas en el contexto del sistema de conferencia de línea. [59]

En el artículo [60], Sjostrom describe a las conferencias como acuerdos formales entre líneas de transporte marítimo en una ruta, siempre fijando precios (posiblemente discriminatorios) y a veces, agrupando ganancias o ingresos, gestionando capacidad, asignando rutas y ofreciendo lealtad. Sin embargo, en las últimas décadas se fueron suplantando por alianzas, las cuales no son tan completas en cuanto a fijación de precios pero sí abarcan rutas comerciales más ampliamente definidas.

Según Eddy Van De Voorde et al. en [61], en la última década, se han desarrollado dos evoluciones. En la primera, las compañías navieras se han vuelto cada vez más grandes a través de fusiones, adquisiciones y crecimiento orgánico, lo que ha llevado a una mayor concentración. En la segunda, se ha generado una cooperación más estrecha a través de alianzas estratégicas. Ambas evoluciones tienen como objetivo generar beneficios económicos y estratégicos.

La primera evolución se da por fusiones. Así se propone en el artículo [60] como una

alternativa a la cooperación. De todas formas, no es un sustituto perfecto ya que la fusión aumenta los costos. El único intento conocido de reemplazar explícitamente una cooperación con una fusión fue el caso de la Compañía Mercantil Internacional que no tuvo éxito. Este problema se vio en la fusión entre Nedlloyd y P& O en 1996, el objetivo fue lograr beneficios de escala y reducir costos. Sin embargo, la operación no fue particularmente exitosa y no se logró el objetivo deseado. Esto condujo a su vez a la adquisición de P & O Nedlloyd Danés group AP Moeller en 2005. En lo que respecta al último objetivo, la fusión ha sido exitosa hasta cierto punto. La fusión generó costos y esfuerzos muchos mayores a los estimados, generando pérdidas en el grupo de USD 568 millones en 2006, pérdida de USD 202 millones en 2007. Además, tampoco se alcanzaron las expectativas en términos de cuota de mercado.

La segunda evolución trata de la necesidad de generar las alianzas, ya que surge desde la globalización de la economía mundial y como consecuencia de la incapacidad de cada compañía, en forma individual, de afrontar el rendimiento prolongado e insatisfactorio de la industria, las inversiones masivas requeridas por la globalización de las rutas, el desarrollo tecnológico, la condición cíclica de la relación oferta/demanda, entre otras [58]. Otro factor que se resalta en el artículo[59], es la degradación del sistema de preferencias principalmente a través de la OSRA de EE.UU. (1998) y la abolición de las normas antimonopolio de la exención por parte de la U.E. en 2008, que han llevado a las empresas a buscar otras formas de colaboración en el esfuerzo por obtener ventajas

En el artículo [60] y [61] se presentan como ventaja de las alianzas la reducción de riesgos y las economías de escalas. Luego, en una encuesta realizada en el artículo [58], se expone como ventajas de la alianzas, mayores volúmenes enviados, un mejor servicio al cliente y un mayor poder de negociación.

Photis Panayides et al. en [59], especifican que las alianzas en el transporte marítimo pueden tomar varios caminos. La más prominente es la denominada “alianzas estratégicas o globales”, es un acuerdo en el transporte marítimo donde el objetivo es establecer una cooperación a escala mundial. Estos acuerdos involucran a los transportistas oceánicos que cooperan en ciertas rutas globales importantes (por ejemplo, Europa-Asia, Asia-Estado Unidos, Estados Unidos-Europa). Son acuerdos que se vienen formando desde el 1990 los cuales han desarrollado varios tipos de colaboración entre operadores. Estos incluyen compartir barcos y compartir espacios. La estabilidad que se asegura en la teoría de las alianzas, no se ha logrado en la práctica. Se vieron casos donde se generaron desestabilización en la dirección de las empresas a causas de las alianzas.

Los acuerdos de compartición de “tragamonedas” requieren el intercambio de un porcentaje fijo de la capacidad del buque entre los transportistas durante un período

do de tiempo determinado. Este tipo de arreglo puede ser beneficioso cuando dos compañías asociadas tienen embarcaciones desplegadas en la misma ruta con horarios de salida diferentes. Los transportistas comparten ganancias, costos operativos y colaboran sobre la base del intercambio de información de la demanda [59]. Se concluye que estas alianzas generalmente son acuerdos que se realizan por 5 años con determinadas normativas para los miembros.

Otros actores en el sector marítimo que se ven necesitados a enfrentar estos desafíos son los puertos y una posible estrategia que plantea Fernando González-Laxe en [62], es elaborar formas de cooperación horizontal entre ellos para cumplir las necesidades de las navieras. El transporte marítimo se canaliza progresivamente hacia un número más reducido de puertos y las mercancías siguen, cada vez más, unas rutas muy delimitadas en función de la capacidad de demanda y de las condiciones que poseen los recintos de los puertos para albergar, almacenar y distribuir las mercancías. Ello hace que los nuevos agentes económicos planteen una innovadora forma de servicios y apuesten por el potenciamiento de la cadena multimodal. En consecuencia, las terminales portuarias adquieren un nuevo rol en el transporte marítimo.

Los artículos que abordan el tema resaltan que en lo que respecta al sector marítimo y portuario, la existencia de conocimientos sobre los objetivos y resultados de la cooperación horizontal y vertical, son aún escasos y limitados. Si bien es una de las industrias que más antecedentes tiene sobre diversos tipos de cooperaciones horizontales, existe la necesidad de una mayor investigación empírica sobre, entre otras cosas, la existencia de economías de escala, alcance y los factores que las afectan y compararlos entre sí, en diversas condiciones del mercado. Por ejemplo, costos de coordinación, riesgo de fuga de información corporativa sensible, costos de transacción, entre otros.

4.3.3. Transporte Aéreo

Las cooperaciones horizontales aéreas se denominan comúnmente alianzas. Xing Hu et al. en [63], las definen como un acuerdo entre múltiples socios independientes para colaborar en diversas actividades con el fin de optimizar costos.

En el año 1987 nace la primer gran alianza Star Alliance. En el 2018, esta alianza conectaba 1300 aeropuertos en 192 países, 26 aerolíneas, 4600 aviones y aproximadamente 18.500 vuelos diarios, convirtiéndose así en la alianza aérea más grande del mundo con el 23 % del tráfico aéreo mundial. Star Alliance tiene dos grandes competidores: Skyteam y Oneworld. La primera fue fundada en el año 2000 y al día de hoy es la segunda en tamaño. Cuenta con 19 miembros y representa el 20,4 % del tráfico. La última alianza mencionada, OneWorld, tiene el 17,8 % del tráfico aéreo. Tiene 13 miembros, cuenta con una flota de 200 aviones y realiza 8500 vuelos diarios

a 570 destinos en 135 países.

En 1997 el autor Jong-Hun Park [64] sostiene que el surgimiento de las alianzas nace principalmente debido a que la mayoría de los pasajeros prefieren viajar con grandes aerolíneas que cuenten con una gran cantidad de conexiones y una extensa red internacional. Esta preferencia ha obligado a las aerolíneas a establecer redes globales para atraer a más pasajeros y sobrevivir en los mercados cada vez más competitivos. Sin embargo, es difícil para una sola aerolínea crear una red verdaderamente global ya que las aerolíneas no pueden simplemente volar a donde quieran. Es por este motivo que surgen las alianzas entre múltiples empresas. Al ingresar en una alianza, los miembros logran expandir el alcance de sus redes y servicios a varias partes del mundo.

Otro de los motivos para la creación de alianzas según Park [64] es la reducción de costos y aumento de la competitividad que se le genera a los miembros. Estos beneficios se dan debido a que la coordinación genera el uso compartido de un conjunto de instalaciones en tierra (puertas de embarque, mostradores de check in, oficinas de venta, personal de check in y embarque, etc.), operaciones conjuntas, bloque de ventas espaciales, coordinación de horarios de vuelo, publicidad, promoción conjunta, intercambio de auxiliares de vuelo entre otros costos compartidos. Como resultado, los socios pueden ser más rentables y competitivos.

Las alianzas aéreas no solo generan beneficios para los miembros sino que mejoran considerablemente el servicio para los pasajeros. Los viajeros pueden coordinar los horarios de vuelo para minimizar el tiempo de espera entre vuelos y al mismo tiempo contar con suficiente tiempo para las conexiones, esto se puede hacer debido a la mayor cantidad de oferta de vuelos. El manejo conjunto del equipaje elimina la necesidad de recuperar y revisarlo en los lugares de conexión. Otro beneficio que resulta interesante para los clientes es la recolección de millas. Al viajar con cualquier miembro de la alianza se suman millas y pueden ser luego utilizadas en cualquiera de las aerolíneas.

Xavier Fageda et al. [65] sostienen que si bien un servicio de buena calidad incluye diferentes dimensiones tanto en tierra como en aire, el factor estudiado que es de mayor importancia para los pasajeros, es que las aerolíneas cuenten con una programación conveniente, caracterizada por una frecuencia de vuelos adecuada.

Si bien los beneficios de las alianzas aéreas son múltiples, tanto para los miembros de las alianzas como para los clientes, Park [64], menciona un riesgo que puede estar presente en este tipo de alianzas tan poderosas. Se trata del aspecto anti competitivo que puede generar un aumento de poder combinado en el mercado por parte de los miembros. Los socios pueden aumentar las tarifas aéreas y explotar su poder de mercado fortalecido.

Terence Fana et al. [66] mencionan cinco factores que influyen en la estructura de las alianzas aéreas:

- Mayor globalización en el comercio. Esto genera mayor demanda de viajes internacionales, por ejemplo, empleados que viajan a distintos destinos por trabajo.
- Aumento de la interacción interregional. Nace el concepto de identidad regional.
- Incentivos económicos para las aerolíneas para que formen alianzas.
- El ritmo acelerado de la liberación del sector de transporte internacional busca liberar los derechos de tráfico aéreo, teniendo ciertas restricciones por razones de seguridad.
- Inmunidad antimonopolio: la cual se explicará en detalle más adelante.

Volodymyr Bilotkach [67] sostiene que la cooperación horizontal aérea presenta tres características:

- Inmunidad antimonopolio:
- Code sharing.
- Asignación de costos y ganancias.

Bilotkach define la inmunidad antimonopolio como el derecho de las aerolíneas asociadas a establecer conjuntamente las tarifas dentro de su red conjunta. La presencia de inmunidad antimonopolio es el factor principal para la reducción de tarifas. Tanto las formulaciones teóricas como las empíricas confirmaron que otorgar inmunidad antimonopolio a alianzas ya existentes genera una baja en las tarifas, así como un aumento en la calidad del servicio.

Otro aspecto fundamental en las alianzas aéreas es el denominado “code sharing”. Este concepto se refiere a un acuerdo suscrito entre dos o más aerolíneas para explotar conjuntamente una determinada ruta. De esta forma las distintas aerolíneas venden asientos de un mismo vuelo y este tiene varios números de vuelos distintos, uno por cada compañía. Resulta bastante eficiente para las aerolíneas poder vender asientos en un vuelo que no es efectuado por ellos mismos. Bilotkach añade a esta definición que el acuerdo suscrito puede ser por la totalidad de la ruta únicamente o cubrir partes sustanciales de las redes. Cada empresa asociada tiene una cantidad máxima establecida de asientos que puede vender. El precio de los viajes compartidos se puede establecer de distintas maneras. Una de las formas de fijar este precio es que el transportista operador establezca el precio y luego reciba un pago por aceptar al pasajero de la empresa asociada. Otra de las maneras de fijar los precios es que la

compañía operadora establece una tarifa para aceptar a los pasajeros de aerolíneas asociadas y luego esta sub-tarifa es añadida en los costos totales.

La última característica a mencionar es la asignación de costos. Se puede decir que este es el principal motivador para las aerolíneas al formar cooperaciones, al buscar un beneficio superior al que obtendrían individualmente. Al obtener ingresos adicionales de forma conjunta, hay que distribuir esta ganancia entre los miembros de la alianza.

Xing Hu et al. [63] proponen una teoría de juegos de dos etapas para estudiar las operaciones y asignación de costos en las alianzas aéreas. En la primer etapa, las aerolíneas negocian la repartición de los ingresos generados por code sharing y en la segunda, las aerolíneas operan de manera independiente con sistemas de control de inventario para maximizar sus propios ingresos. La primer etapa, toma como hipótesis que no haya ninguna coalición que colectivamente pueda obtener mayores ingresos al dejar la gran alianza para formar una sub alianza independiente. Otra hipótesis que toma, es que los ingresos que puede generar una coalición son iguales a los de un aerolínea única que reúne los recursos de todos sus miembros.

Para la asignación de costos se utiliza el concepto de teoría de juegos conocido como equilibrio de Nash. Este tipo de equilibrio busca la mejor solución individualmente y no la mejor solución posible en conjunto. Se utiliza esta solución con el fin de que ningún socio tenga incentivos de retirarse de la alianza.

Para establecer cuál es el ingreso adicional de la alianza el autor sugiere una regla de prorrateo heurístico basada en los precios que se presentan al público general.

El libro [68] escrito por el autor Demet Çetiner dedica un capítulo entero al reparto de ingresos basándose en el método Nucleolus. Se proponen varias razones por las cuales el Nucleolus es una buena opción para asignar los ingresos de una alianza aérea. En primer lugar, un esquema de reparto de ingresos justo, debería asegurar la estabilidad de la alianza, es decir, que ningún subgrupo de aerolíneas esté mejor abandonando la alianza, virtud que garantiza este método. Otra de las razones es el criterio de equidad, este método asegura de manera iterativa que los miembros más perjudicados logren conseguir su beneficio.

Terence Fana et al. [66] mencionan dos tipos de cooperaciones: se pueden dar las alianzas complementarias y las paralelas. La primera consiste en que dos firmas unen sus redes existentes para formar una red complementaria con el fin de proporcionar mejor servicio a los pasajeros. Por otro lado, en las alianzas paralelas las firmas cuentan con las mismas redes, lo que hacen es aumentar la frecuencia de vuelos para resultar a su vez en una mejoría en el servicio. Bilotkach [67] afirma que las cooperaciones complementarias son pro-competitivas mientras que las cooperaciones

paralelas son anticompetitivas. A su vez, agrega que la reducción de competitividad en las cooperaciones paralelas en parte es resultado de la inmunidad antimonopolio. Vale la pena remarcar que el code sharing que se mencionó anteriormente únicamente se da cuando la cooperación es paralela.

Si bien hay mucha literatura que expone los beneficios de estas alianzas, los autores Klophausa y Lordan presentan en el artículo [69] la vulnerabilidad que pueden presentar las aerolíneas que cuentan con una red de code sharing. Para medir el nivel de vulnerabilidad, los autores eligen un enfoque de teoría de grafos (en donde los aeropuertos son los nodos y las rutas son las aristas). Dos aeropuertos están unidos si un miembro de la alianza opera vuelos entre ellos.

Lo que se busca con este análisis es estudiar el riesgo que presentan las alianzas si una de las aerolíneas socias decide no formar más parte de la alianza.

En particular, se estudia el caso de las tres alianzas Oneworld, Star Alliance y Sky-Team, y se llega a la conclusión que Oneworld es la alianza más vulnerable, esto se debe principalmente a que tiene miembros fuertes como, por ejemplo, American Airlines. Si alguna de estas aerolíneas se retira de la alianza impacta de manera importante en la alianza ya que hay muchas rutas ofrecidas por estas aerolíneas.

4.3.4. Transporte terrestre

Al igual que en los otros sectores, la cooperación en el transporte busca lograr un beneficio común y mayor al que conseguirían operando de manera independiente. Mario Guajardo [70] define el transporte colaborativo horizontal como dos o más entidades que unen esfuerzos para coordinar sus actividades de transporte y buscar un mejor desempeño en relación a trabajar solo.

Crujissen et al. [45] puntualiza que las oportunidades de la cooperación horizontal en el transporte pueden ser las siguientes:

- Costo y productividad: Al conocer las capacidades y habilidades de sus socios es posible mejorar los propios procesos operativos. Al mismo tiempo, hay costos que pueden ser compartidos como combustible, camiones, computadoras a bordo.
- Servicio al cliente: La cooperación permite a las empresas aprender habilidades y capacidades de los demás lo que ayuda a dar un mejor servicio.
- Posición en el mercado: La cooperación horizontal es una herramienta útil para expandir la flota disponible, el rango de servicio y la cobertura geográfica y, como resultado, aumentar el número de clientes. A su vez, las inversiones en investigación y desarrollo (I&D) pueden ser compartidas.

Debido al alto porcentaje que implica el costo logístico en la distribución en supermercados en Italia, en el artículo [71] se plantea que un elemento de colaboración entre los productores es la elección de un código estándar para unidades de consumo, cajas de cartón y pallets. Otra estrategia que plantean es que los distribuidores pueden optar por compartir el mismo almacén cuando el volumen de ventas no es lo suficientemente alto como para justificar la apertura de un centro regional de distribución. Las condiciones de precio y venta no son las mismas para todos, por lo que el stock de cada artículo debe separarse para fines contables.

Se recomienda dos tipos de gestión de inventario:

- Global e individual.
- Esencial, para la correcta gestión de inventario.

Los dos sistemas tienen que estar vinculados, pero cada distribuidor sólo puede conocer los detalles de almacenamiento relacionados con sus productos. Debido a esto, plantean que un proveedor de servicios logísticos, acordado por todos los distribuidores, debe encargarse de la gestión del almacenamiento.

Otra estrategia es utilizar una empresa que haga las entregas de más de una distribuidora según zonas. Para estas recomendaciones ponen énfasis en la comunicación como un medio fundamental para lograr el éxito. De forma similar pero entrando en más profundidad, en el artículo [72] se estudió la sinergia en cooperación horizontal tomando un caso de estudio de tres empresas alemanas de transporte comparando su operativa habitual sin cooperación, contra la utilización de un centro de distribución en común de forma de unificar la mercadería y entregar por zonas.

Esta misma idea, se aplicó en [73] en el rubro de venta y entrega de flores en Holanda. Se compararon los gastos individuales de dos empresas que entregan solo a sus propios clientes, y la situación donde utilizan el order sharing. Tomando los costos unitarios de mantener operativo cada camión y los costos por km recorrido, se realizaron los cálculos de costo total. Se obtuvieron ahorros de hasta un 7.3 %, tanto en camiones necesarios a utilizar para cumplir con la demanda, como de kilómetros recorridos. Se observó cómo los beneficios aumentaban de forma significativa cuanto menor sea la empresa, debido a que las empresas grandes manejan una economía de escala.

Una de las variables que se utilizó en los diferentes análisis de sensibilidad para observar cómo variaban los costos, fue el promedio de porcentaje de capacidad utilizada en el camión en las entregas. El resultado fue que para valores mayores a 60 % de la capacidad del camión utilizada, los ahorros en costos son invariantes. Pero para valores menores, se tiene un aumento exponencial en el costo a medida que se tiene más capacidad ociosa. De esta manera se ve la importancia en el estudio de

Hageback y Segerstedt en el artículo [74] en una ciudad de Suecia de 7200 habitantes y 7900 km² en 2004, donde la falta de economía de escala genera largos trayectos de camiones con un 30 % de viajes vacíos y 40 % de la capacidad utilizada en promedio, generando aumentos en el precio final.

El objetivo del caso de estudio en la ciudad de Pajala fue conocer la voluntad de las empresas de manejar la cooperación como forma de negocio a nivel logístico. Se realizó un cuestionario y los resultados arrojaron que sólo un 8 % de los consultados han pensado en una cooperación, mientras que en el otro extremo, un 59 % respondieron que nunca han pensado en ello.

Los resultados de las encuestas no son extraños si entendemos que las empresas no saben cómo se lleva a cabo una colaboración horizontal, por este motivo en el artículo [75] se plantea que para que las empresas accedan a participar de una colaboración, primero se deben resolver dos problemas.

El primero es el cálculo de los ahorros esperado del total de la coalición, donde el autor plantea para estimar este valor, un problema de programación entera mixta donde se estima la demanda de transporte por un período de tiempo y también el costo del viaje para cada par de ubicaciones.

En segundo lugar, plantean la asignación de costos. Se utiliza la teoría de juegos con diferentes métodos (Nucleolus, Shapley, t-value, core centre, minmax centre). En este caso se obtuvieron valores similares.

El tipo de metodología a utilizar en la asignación de costos puede variar según el tipo de problema planteado. Por ejemplo, Fabiola Sánchez et al. [76] buscan aplicar la teoría de juegos con el valor de Shapley, para encontrar una repartición equilibrada de los costos de transporte entre los clientes de una empresa distribuidora de abarrotos, a partir del diseño previo de rutas de reparto utilizando el modelo de ruteo de vehículos con capacidad. Toma como base los resultados del modelo CVRP para definir cuatro rutas de reparto que serán cubiertas por un vehículo y se propone una repartición equilibrada de los costos de transporte entre los clientes. Para esta repartición, se utiliza valor de Shapley, logrando mejoras en ahorro comparado al sistema CVRP. Se obtienen beneficios del 40 % de ahorro contra el costo marginal. El caso de estudio tiene limitaciones a medida que se aumentan los nodos.

Luego de aplicar ruteo de vehículos para empresas de transporte con heurísticas propuestas por Ropke y Pisinger [77], se utiliza el valor Shapley para la asignación de costos. Esto no significa que siempre sea mejor opción optar por este método para la asignación. En el artículo [78], luego de analizar siete diferentes métodos, se optó utilizar Nucleolus con dos variaciones para la distribución de los costos en colaboración horizontal entre países exportadores de gas natural.

En el artículo [79] luego de analizar distintos métodos, se observó que ninguno de ellos cumplía con sus requisitos, por ejemplo, identificar una solución perteneciente al núcleo y ser cross-monotonic. Por lo tanto, crean algoritmos que generan asignaciones adecuadas para la situación estudiada. El artículo está inspirado en solucionar una problemática en Estados Unidos, donde según las estimaciones de la Asociación Estadounidense de Camiones (ATA), la relación entre el kilometraje vacío y el kilometraje total para los transportistas de grandes camiones es aproximadamente del 17 %, mientras que para transportistas de pequeños camiones, es de aproximadamente el 22 %. En conjunto, esto corresponde a aproximadamente 35 millones de millas vacías mensuales según datos de ATA 2005.

Se puede concluir que no hay una metodología mejor que otra, y que las opciones son muy variadas. Esto lo explica Mario Guajardo et al. en [80] donde hacen una revisión bibliográfica sobre los métodos utilizados con asignación de costos en transporte. Se registraron 23 artículos desarrollados por valor de Shapley, 18 con método proporcional, 12 con Nucleolus, 8 con dual, otros 8 con marginal y 2 por valor-t. Además, se plantean 7 artículos que son desarrollados por métodos diferentes a los mencionados previamente. Por último, se nombran 31 trabajos abordados por un método llamado Ad hoc.

La búsqueda bibliográfica sobre sustentabilidad se aborda con mayor profundidad en el capítulo 4.5. De todas formas se menciona que en el sector del transporte terrestre, en los últimos años se ha hecho un fuerte hincapié en la búsqueda de reducción de emisiones de CO_2 . En el artículo [70] se nombran diferentes trabajos que hacen referencia a cuantificar el impacto en el medio ambiente con colaboraciones horizontales. A su vez, Mario Guajardo et al. en [80] mencionan cómo estos análisis sobre el ambiente son más cotidianos de ver en los artículos de años más recientes. Esto se debe a que la búsqueda de sustentabilidad es un tema actual que requiere de máxima atención. Es interesante ver que de los artículos presentados en [70], se obtienen resultados de entre 11 % a 54 % de reducción de las emisiones trabajando de forma colaborativa en oposición a no hacerlo.

4.3.5. Otras Aplicaciones

Como se ha visto a lo largo del Estado del Arte la cooperación horizontal tiene distintas aplicaciones y se ha implementado mayoritariamente en las áreas mencionadas. Sin embargo, hay distintas áreas en las que se ha visto implementado pero en menor medida.

Los autores Fan et al. plantean en [81] la aplicación de la cooperación horizontal para los canales minoristas en línea. Como sabemos, las ventas online han aumentado considerablemente en los últimos años y el esquema más conocido es el esquema de

la plataforma en la cual, el fabricante vende directamente a través de una plataforma en línea de los minoristas pero debe pagar una comisión por cada transacción (Por ejemplo a través de Amazon).

La cooperación horizontal se establece entre dos minoristas en línea, donde un minorista en línea vende productos a través de la plataforma compartida del otro, además de vender desde su propia plataforma. Por lo tanto, las relaciones cooperativas y competitivas existen simultáneamente en la cooperación horizontal.

Tomando un caso de estudio, en el que se considera un fabricante y dos minoristas, se aplica teoría de Juegos y se llega a la conclusión de que la cooperación horizontal promueve la coordinación de canales. Otra conclusión es el efecto de la cooperación horizontal para mejorar el rendimiento de toda la cadena de suministro, la cual se puede mejorar bajo una competencia de mercado más feroz.

En la industria agroalimentaria la cooperación horizontal es aplicada con un fin distinto a los que se ha visto a lo largo del estado del arte. En el artículo [82], Quin Yu presenta algunos problemas de esta industria en China, principalmente los problemas son causados debido a grandes variaciones en los precios y problemas bromatológicos. Se plantea la cooperación horizontal como posible solución a estos problemas ya que brinda una estructura organizacional.

Otra aplicación interesante de la cooperación horizontal es en los medios de transporte público en las ciudades. Con el continuo aumento de la densidad poblacional se ve una clara necesidad de fomentar y proporcionar incentivos para el uso del transporte público. Esto es necesario tanto, para reducir el alto nivel de contaminación, como para reducir la congestión del tráfico. Con este fin se crean las tarjetas de transporte público las cuales le permiten a los usuarios viajar a un costo menor y hacer uso de las diferentes conexiones disponibles, independientemente de la compañía que proporcione el servicio.

En el artículo [83] los autores toman este problema y pretenden estudiar la asignación de costos teniendo en cuenta que hay distintos tipos de transporte involucrados de distintas empresas. Para esta asignación los autores plantean dos métodos de asignación de ganancias con el uso de teoría de juegos. Se proporciona la posibilidad de asignar las ganancias de manera semanal, mensual o anual.

4.4. Sustentabilidad

El transporte tiene un impacto directo sobre el medio ambiente, de hecho, es una de las principales preocupaciones con respecto a la sustentabilidad. Chesneau et al.[84] presentan en su artículo, que en los países de la Unión Europea, el sector de

transporte utiliza el 70 % del petróleo consumido y genera el 21 % de los gases de efecto invernadero.

Dichas emisiones se tornan relevantes cuando se observan valores como el planteado en el artículo [30] donde informa que unas 400.000 muertes prematuras pueden asociarse a $PM_{2,5}$ y ozono en datos del año 2015. Otros datos presentados por Pattanun Achakulwisut et al. [85] muestran que un 13% de los casos de asma en niños es causado por los gases en el ambiente de NO_2 , lo que representa unos 4 millones de casos nuevos anuales.

En la figura 4.1 presentada en el mismo informe, se muestra la distribución de nuevos casos de asma por exposición al dióxido de nitrógeno según cada país en personas con rango de edad de 1-18 años.

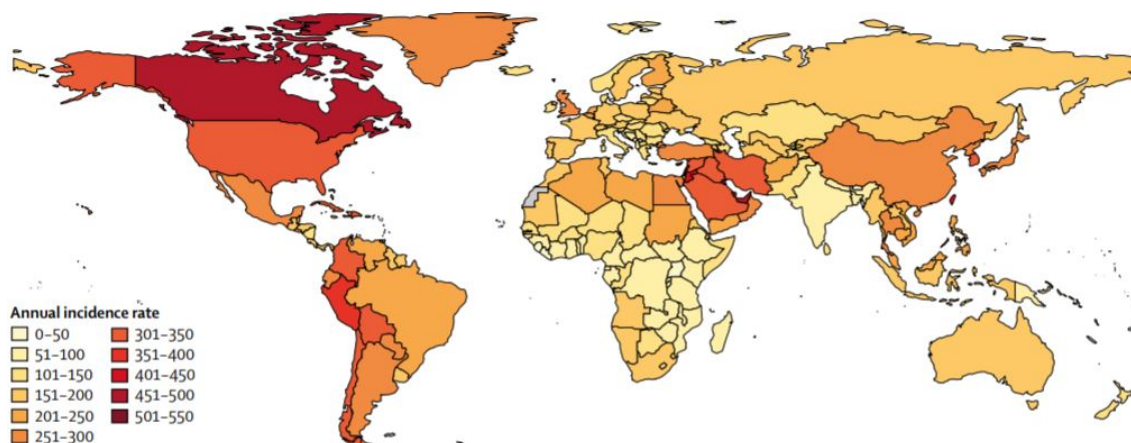


Figura 4.1: Cantidad de nuevos casos de asma cada 100.000 personas debido a la exposición de NO_2 . Fuente: <https://www.sciencedirect.com/>

De esta forma se puede vincular el transporte y los gases emitidos con las consecuencias que pueden traer en la salud. Con el objetivo de lograr la sustentabilidad, el autor B. Ness et al. en [86] analizan tres herramientas relevantes para llevar a cabo el concepto de sustentabilidad en una industria.

- Índices e indicadores: Las herramientas de la categoría de indicadores e índices son no integradas, es decir, no integran los parámetros naturaleza-sociedad, o integradas.
- Evaluación relacionada con el producto: La herramienta más utilizada en esta categoría es la evaluación del ciclo de vida, la misma se utiliza para evaluar los

impactos ambientales de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida. Es un enfoque que analiza el impacto real y potencial que tiene un producto sobre el medio ambiente durante la adquisición de la materia prima, el proceso de producción, el uso y la eliminación del producto.

- Evaluación integrada: Se utilizan para respaldar decisiones relacionadas con una política o un proyecto en una región específica.

Estas herramientas pueden ser aplicadas a la logística en el sector forestal. De esta forma Linder et al. [87] presentan una herramienta de evaluación de impacto integrada para la cadena forestal denominada “Tool for sustainability impact assessment”. Dicha herramienta aborda tres dimensiones de sustentabilidad: ambiental, económica y social. Basado en este trabajo, Chesneau plantea nuevos avances en este tipo de herramientas aplicado a un caso de estudio en Suecia con nuevas ventajas, como la facilidad tanto de uso, como de ingreso de datos.

Este tipo de herramientas son fundamentales si se tiene en cuenta el aumento de la demanda de madera en los últimos años. Entre 1960 y 2000, se triplicaron las cosechas de madera para la producción de pulpa y papel a nivel mundial [88].

Sumado a la importancia de las herramientas aplicadas a la búsqueda de la sustentabilidad, también se resalta la necesidad de cumplir con las normativas que tienen como objetivo lograr el cuidado del ambiente. En el reporte [30] se estima que por cada dolar invertido en el cumplimiento de las norma Euro VI, se generarían U\$S 3.60 dolares en beneficios en salud durante los próximos 30 años.

Por otro lado, en el artículo [89] se utilizan datos otorgados por la agencia federal de medio ambiente, la cuál recomienda que con la finalidad de hacer una evaluación económica, se calcule que el costo del daño generado por cada tonelada de CO₂ emitido es de 70 Euros. Se analiza no sólo la contaminación de gases liberados al ambiente sino también, la contaminación sonora y los accidentes asociados a los tres tipos de transportes que se han presentado a lo largo del presente informe (Transporte terrestre, marítimo y ferroviario).

Capítulo 5

Descripción del Problema

El problema plantea una colaboración entre dos empresas del sector forestal en el territorio uruguayo. Ambas trabajan con el mismo tipo de plantaciones, con el fin de producir celulosa. El principal objetivo del problema, es que mediante la colaboración, ambas empresas logren un beneficio económico. Como consecuencia de esta colaboración también se buscan otros beneficios tales como la reducción de las emisiones de CO_2 y un desgaste menor en las rutas nacionales.

El problema se enfoca en determinar la planificación del transporte de ambas empresas en conjunto. A partir de datos de cosecha definidos se planifican nuevas rutas para que se pueda generar el trueque de trozas entre ambas empresas.

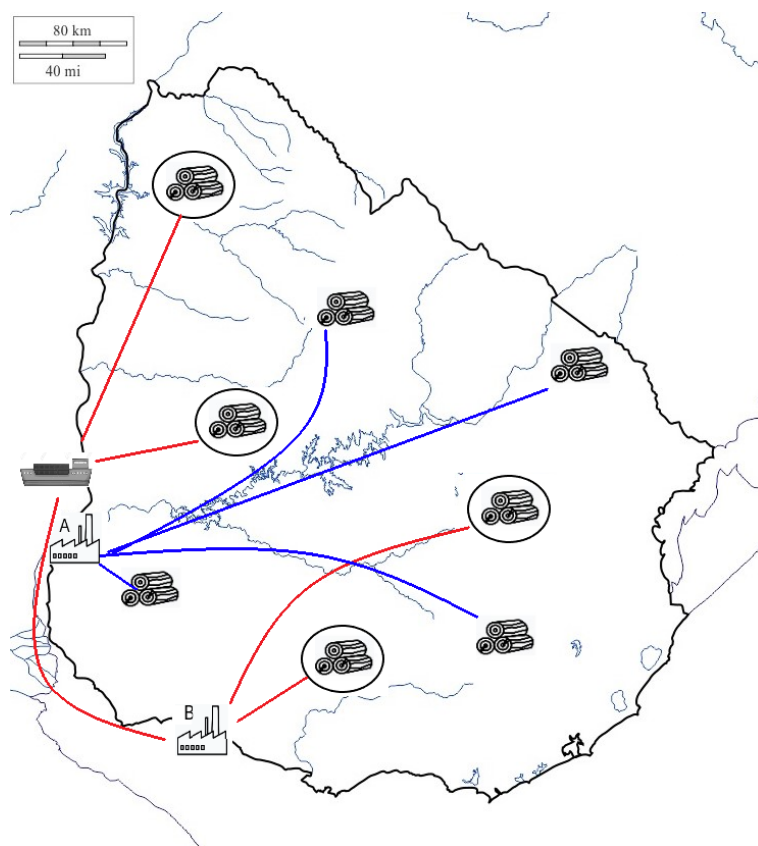


Figura 5.1: Distribución de transporte sin colaboración. Las líneas azules y rojas representan el trayecto a la empresa A y B respectivamente. Fuente: elaboración propia.

La figura 5.1 muestra la situación inicial sin colaboración en donde cada empresa envía lo cosechado a su propia planta. Las ilustraciones de madera ejemplifican las zonas de cosecha. A modo ilustrativo, aquellas zonas de cosecha con la madera encerrada por un círculo, corresponden a la empresa B. La planta de la empresa B, ubicada en el Sur-Oeste del país, recibe las trozas vía terrestre o vía terrestre-marítima (barcaza ilustrada en el mapa). Los iconos de madera restantes le pertenecen a la empresa A, ubicada al Oeste del mapa. Las líneas azules y rojas representan el recorrido para llegar a la empresa A y B respectivamente. Como se observa, no hay intercambio de trozas.

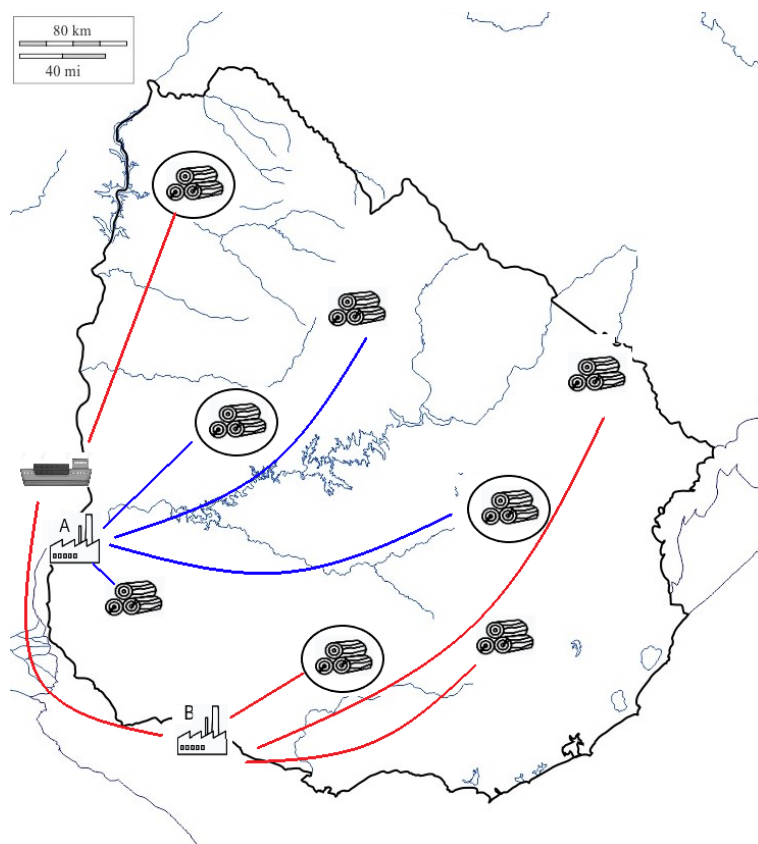


Figura 5.2: Distribución de transporte con colaboración. Las líneas azules y rojas representan el trayecto a la empresa A y B respectivamente. Fuente: elaboración propia.

La figura 5.2 muestra un ejemplo de la redistribución logística de las trozas hacia las plantas con colaboración. En esta se genera el trueque de trozas. Lo que se busca con esta nueva planificación es la reducción de distancias recorridas.

Un punto importante a considerar es la forma que tienen las empresas en transportar sus trozas hasta la planta. La empresa A utiliza únicamente el transporte terrestre para llevar las trozas, indistintamente en el punto del país que se encuentre el monte. Sin embargo, para la empresa B, si la zona de cosecha se encuentra al norte del Río Negro, el transporte se realiza vía terrestre hasta el centro oeste del país, para luego transportarlas por barcaza hasta la planta. Si el monte está por debajo del Río Negro, va directamente vía terrestre hasta la planta.

Lo que busca entonces el problema, es optimizar los costos del transporte mediante una colaboración horizontal entre empresas competidoras. Generando indirecta-

mente una reducción de kilómetros totales de manera que se obtienen beneficios económicos y ambientales.

5.1. Datos dados al problema

Para lograr la ejecución del modelo es necesario contar con la siguiente información:

- Planes de cosechas:
Los planes de cosecha determinan la cantidad de trozas que se permiten extraer de cada zona. Se ingresan doce datos por empresa, representando así un plan anual de cosecha. La unidad de medida utilizada para este dato es toneladas.
- Demanda:
La demanda determina la necesidad de abastecimiento que tiene cada una de las empresas. Al igual que los planes de cosecha, se ingresan doce datos por empresa y de la misma manera se mide en toneladas.
- Peso transportado por camión:
La cantidad de trozas transportadas por camión se miden en toneladas. Se ingresa un único valor.
- Peso transportado por barcaza:
Al igual que el peso transportado por camión, la cantidad transportada por barcaza se mide en tonelada. Se ingresa un único valor.
- Tipo de transporte y costos:
Se define qué medio de transporte debe utilizarse para trasladar las trozas de cierto punto a otro (terrestre o fluvial).
A su vez es necesario conocer el costo de transportar en camión y en barcaza por km recorrido.
- Distancias:
Se deben ingresar las distancias entre todas las zonas de cosechas con respecto a las empresas. Y las distancias de las zonas que correspondan con respecto al puerto.

5.2. Suposiciones

Debido a que muchos de los datos necesarios para la elaboración del problema son confidenciales, es necesario suponer distintos datos para la correcta ejecución, los cuales son:

- La demanda esta dada por la cosecha:
Se supone que para cada período la demanda es igual a la cosecha. En la realidad, por más que se busque que se igualen, las cosechas no coinciden con la demanda de la planta. Existen zonas de acopio (fuera de la planta) y la planta cuenta con stocks de seguridad que permiten optimizar los traslados y cubrirse ante cualquier percance que pueda presentarse.
- Porcentaje de intercambio:
Se fija un porcentaje máximo de la demanda para colaborar. El modelo decide que trozas del total disponibles intercambiar. De esa manera, completar el máximo intercambio admisible, si lo considera óptimo.
- Igualdad de intercambio:
Al final del período de 12 meses, los participantes deben haber recibido la misma cantidad trozas que las que entregaron.
- Costo de la barcaza:
El costo de transportar por barcaza una tonelada de trozas por kilómetro, se supone la mitad del costo que por vía terrestre.
- Utilización de Barcaza:
Todo lo que es enviado a la empresa B, que se encuentra al norte del Río Negro, es enviado en barcaza por vía fluvial. Se calcula la cantidad de kilómetros hasta la zona de carga (Fray Bentos) y después se le suma el costo de transporte por barcaza.
- Distancias recorridas terrestres:
Para el calculo de las distancias recorridas por los camiones se considera la normativa legal del país, la cual no permite la circulación de camiones de mayor pesaje en todas las rutas. Utilizando la aplicación de Google Maps se suponen las rutas utilizadas para unir dos puntos y a partir de esta se obtienen las distancias recorridas. Para este ejercicio, se consideran los corredores habilitados para el transporte de 46 a 48 toneladas.
- **Peso transportado de camión y barcazas**
Se suponen fijos estos valores para ambos medios de transporte, en el caso del camión se supone 30 toneladas y en la barcaza 5000 toneladas.
- **Planificación de transporte**
Se supone la planificación de transporte para 1 año, dividido en 12 meses.

5.3. Formulación Matemática

El modelo matemático es planteado como un problema de optimización de costos. Esta optimización se obtiene mediante la asignación de viajes utilizando la colaboración horizontal. Esta formulación contiene conjuntos, parámetros, variables de decisión, función objetivo y restricciones.

5.3.1. Conjuntos y parámetros

Conjuntos:

Notación	Descripción
T	Períodos de tiempo
Z_A	Zonas de cosecha de la empresa A
Z_B	Zonas de cosecha de la empresa B
Z	Conjunto de zonas de cosecha ($Z = Z_A \cup Z_B$)
Z_C	Zonas de cosecha que utilizan barcaza ($Z_C \subset Z$)
I_A	Planta industrial de la empresa A
I_B	Planta industrial de la empresa B
I	Conjunto de plantas industriales de las empresas ($I = I_A \cup I_B$)

Tabla 5.1: Conjuntos del modelo

Parámetros:

Notación	Descripción
Q_{ij}^A	Cantidad de trozas cosechadas de la empresa A en el mes i en la zona de cosecha j
Q_{ij}^B	Cantidad de trozas cosechadas de la empresa B en el mes i en la zona de cosecha j
D_{ik}	Demanda a satisfacer en el mes i para la empresa k
p	Porcentaje permitido de colaboración
d_{jk}	Distancia de la zona de cosecha j a la empresa k
C_{jk}	Costo de transportar una tonelada de trozas desde la zona de cosecha j a la empresa k
P	Peso promedio de trozas que transportan los camiones
U	Peso promedio de trozas que transportan las barcazas

Tabla 5.2: Parámetros del modelo

5.3.2. Variables de decisión

Las variables de decisión que se tienen en el modelo son dos:

- y_{ijk} Cantidad de trozas que se entregan en el mes i del lugar de cosecha j a la empresa k . Unidad utilizada para esta variable es en toneladas.
- x_i^k Trozas compartidas en el periodo i , al cliente k . Se activa el valor de las trozas compartidas cuando la zona de cosecha j pertenece a Z_A y se envía a la planta de la empresa $k = B$ y lo mismo cuando j pertenece a Z_B , $k = A$.

Dentro de las variables, se tienen algunas que son útiles para el análisis de los resultados:

- r Cantidad de kilómetros que se realizan para transportar las trozas. Se considera dentro del contador, únicamente los kilómetros de los camiones, no se contemplan los kilómetros realizados por la barcaza.
- u Cantidad de viajes en barcaza que se transportan hasta la planta de la empresa B por este medio.
- h Cantidad de trozas intercambiadas en un año.

5.3.3. Función objetivo

La función objetivo pretende minimizar el costo de la operativa logística de transporte:

$$z = \min \sum_{i \in T} \sum_{j \in Z} \sum_{k \in I} C_{jk} \times y_{ijk} \quad (5.1)$$

5.3.4. Restricciones

A continuación, se presentan las restricciones que se encuentran en el modelo:

$$x_i^A = \sum_{j \in Z_B} y_{ijA} \quad (5.2)$$

$$x_i^B = \sum_{j \in Z_A} y_{ijB} \quad (5.3)$$

$$\sum_{i \in T} x_i^A = \sum_{i \in T} x_i^B \quad (5.4)$$

$$\sum_{i \in T} \sum_{j \in Z} y_{ijk} \geq D_{ik} \quad (5.5)$$

$$\sum_{i \in T} x_i^A \leq p * \min\{k \in I; \sum_{i \in T} D_{ik}\} \quad (5.6)$$

$$\sum_{k \in I} y_{ijk} \leq Q_{ij}^B \quad (5.7)$$

$$\sum_{k \in I} y_{ijk} \leq Q_{ij}^A \quad (5.8)$$

$$t = \frac{\sum_{i \in T} \sum_{j \in Z} \sum_{k \in I} y_{ijk} * d_{jk}}{P} \quad (5.9)$$

$$h = \sum_{i \in T} x_i^A \quad (5.10)$$

$$u = \sum_{i \in T} \sum_{j \in Z_C} \frac{y_{ijB}}{U} \quad (5.11)$$

$$y_{ijk}, x_{ik}, t, h, u \geq 0 \quad (5.12)$$

Ref	Restricción	Descripción
(5.2)	Trozadas compartidas a A	Cantidad de trozadas que se mueven de lugares de cosecha de la empresa B a la planta de la empresa A.
(5.3)	Trozadas compartidas a B	Cantidad de trozadas que se mueven de lugares de cosecha de la empresa A a la planta de la empresa B.
(5.4)	Igualdad en colaboración	El total de trozadas intercambiadas entre la empresa A y la empresa B al final del año sea la misma.
(5.5)	Cumplimiento de demanda	La cantidad de trozadas transportadas a la planta mes a mes debe ser por lo menos la demanda de cada empresa.
(5.6)	Máximo intercambio anual	Cota superior de colaboración por año considerando la planta que tenga menos demanda total.
(5.7)	Tope transportado desde zona de cosecha A	Lo que se transporta de una zona de cosecha no puede ser mayor a lo que se cosechó en B.
(5.8)	Tope transportado desde zona de cosecha B	Lo que se transporta de una zona de cosecha no puede ser mayor a lo que se cosechó en A.
(5.9)	Kilómetro recorridos por vía terrestre	Suma de los kilómetros totales recorridos por vía terrestre.
(5.10)	Intercambio total	Sumatoria del total de las trozadas intercambiadas en 12 meses.
(5.11)	Barcazas utilizadas	Cálculo de cantidad de viajes en barcaza que se necesitan para transportar las trozadas.

Tabla 5.3: Restricciones del modelo

5.4. Relevamiento de datos

En esta sección se explica cómo se obtienen los datos y la forma en que son utilizados para finalmente ejecutar el problema.

Una vez definido el caso de estudio, se comienza la búsqueda de contactos con gente vinculada al sector forestal para generar instancias de consultas y entrevistas para así dar inicio al relevamiento de datos.

Cada entrevista implica una preparación previa, preparación de preguntas claves, objetivos y duración del encuentro. Debido a la situación mundial del COVID-19, todas las instancias de contacto con personal referente se dieron vía Skype y/o vía email.

5.4.1. Planes de cosecha

Estos datos están predeterminados por los equipos de planificación de cada empresa. La planificación y los planes de cosecha no forman parte del alcance del problema por lo que es necesario recabarlos.

Los datos fueron extraídos de informes anuales de las empresas y entrevistas con referentes del área forestal.

Los datos obtenidos para los planes de cosecha se presentan en planillas Excel. Se especifica la cantidad de toneladas de trozas cosechadas para cada empresa por cada mes, para un período de 12 meses, teniendo en cuenta las diferentes especies de plantaciones.

Los tipos de Eucalipto incluyen: Grandis, Dunni, Maidenii, Globulus y Benthamii. Para este trabajo se considera únicamente la especie Grandis debido a que es la que tiene más uso en común entre las dos empresas.

A continuación, en la figura 5.3 se presenta una tabla de datos de los montes correspondientes a una de las dos empresas con su respectiva cosecha en toneladas para 12 períodos.¹

¹Para preservar la confidencialidad de los datos obtenidos, a efectos ilustrativos, los datos se multiplicaron por un valor X.

ZONA DE COSECHA	1	2	...	11	12	TOTAL
1	0	0	...	0	0	0
2	3,145	6,115	...	0	0	39,167
3	0	0	...	70	0	6,453
4	0	0	...	0	0	0
5	22,413	35,958	...	0	0	242,203
6	0	0	...	0	0	0
7	0	0	...	36,531	38,245	277,618
...
34	30,717	33,081	...	0	0	249,517
35	26,114	42,203	...	0	0	170,792
36	0	0	...	23,094	23,416	171,385
37	24,307	12,586	...	0	0	134,294
38	0	0	...	15,452	16,557	117,954
39	0	0	...	40,452	0	210,743
40	20,056	31,350	...	0	0	216,610
41	0	0	...	0	0	0
	146,381	213,085	...	144,409	78,218	2,390,454

Figura 5.3: Imagen ilustrativa con datos de cosecha históricos de una de las empresas para el período de un año.

Una vez obtenida esta información, es necesario georeferenciar las zonas de cosecha para el cálculo de las distancias entre las zonas y las plantas. Esto, nuevamente se hizo utilizando la herramienta de Google Maps.

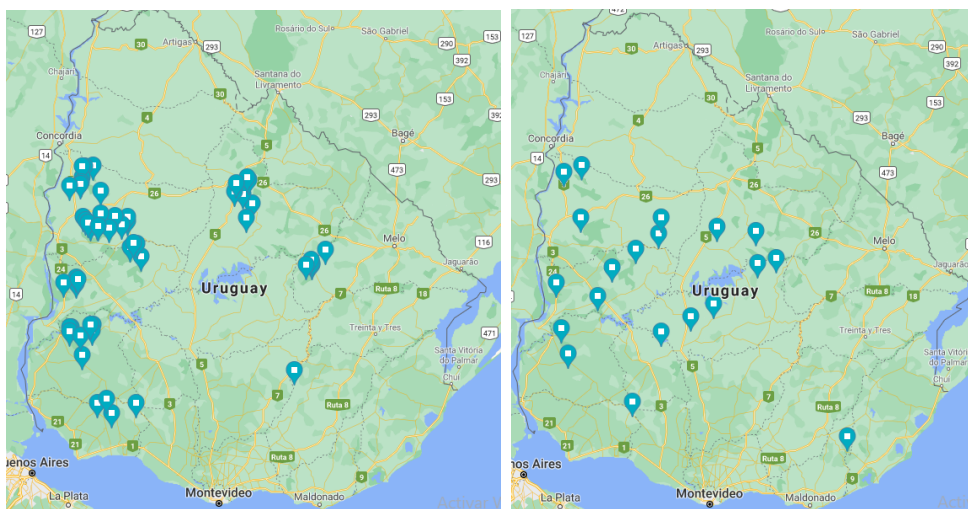


Figura 5.4: Zonas de cosecha de la empresa A y de la empresa B. Fuente: elaboración propia.

En la figura 5.5 se expone un ejemplo del cálculo de distancias entre una zona de cosecha y una planta.

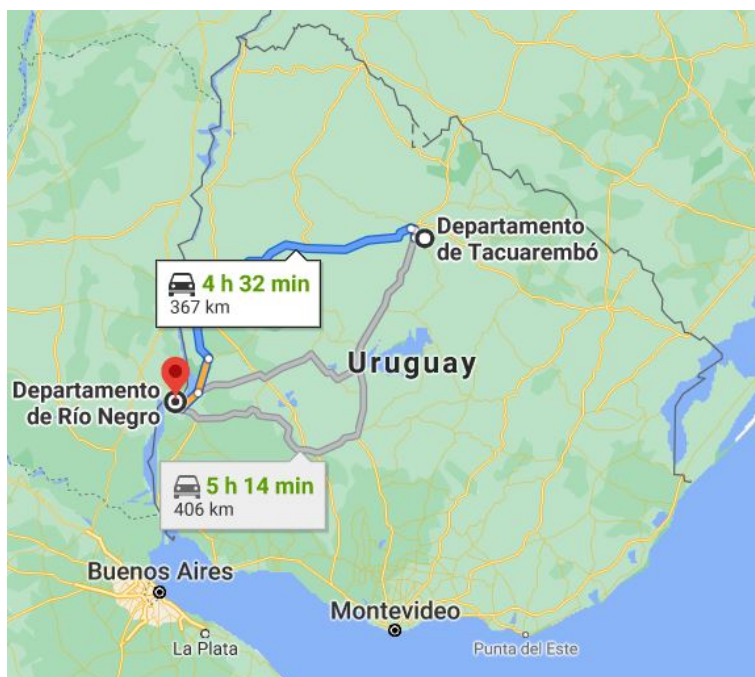


Figura 5.5: Distancia entre una zona de cosecha y una planta industrial.

5.4.2. Cálculo de costos

En esta sección se presentan los costos considerados en el problema y la metodología utilizada para el cálculo de los mismos.

El primer valor obtenido es el costo de transporte por tonelada por vía terrestre. Este valor se obtiene a partir de información brindada en una de las entrevistas. La tabla 5.4 muestra el costo de transportar una tonelada de trozas cada 50 Km. A partir de estos datos, se aproxima la curva por una ecuación lineal, teniendo así la función de costos en relación a la distancia.

Distancia [Km]	Costo [USD/Tm]
50	4,90
100	8,20
150	11,3
200	14,4
250	17,5
300	20,6
350	23,6
400	26,6
450	29,6
500	32,5

Tabla 5.4: Costos transporte de una Tm de trozas cada 50 km

$$C = f(distancia) \tag{5.13}$$

La tabla 5.5 presenta los distintos valores obtenidos y la figura 5.6 muestra la curva lineal obtenida utilizando el programa “My Curve Fit”. El eje de las X corresponde a los kilómetros recorridos mientras que el eje de las Y corresponde al costo.

Coefficiente	Valor	Error
c	2,073	0,0929
m	0,061	0,0003

Tabla 5.5: Coeficientes curva costos $y=m.x + c$

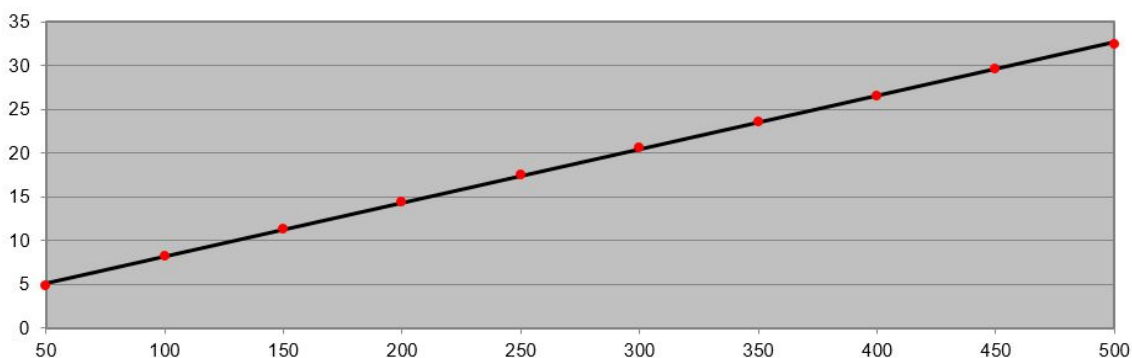


Figura 5.6: Curva lineal de costos de transporte terrestre

Los datos de cosecha se obtuvieron en m^3 y los costos en tonelada por lo tanto se realiza la siguiente conversión ajustando por la densidad ² de la madera de la siguiente forma³:

$$[Tn] = \rho \times 1000 \times m^3 \quad (5.14)$$

Costos de transporte fluvial

Generalmente el costo del transporte fluvial suele estar asociado a un menor costo operativo respecto al transporte terrestre. Si bien esta suposición no es correcta en toda área de trabajo, debido al volumen que se maneja en el área forestal, esta alternativa es un tanto más competitiva que el transporte terrestre.

Tomando los datos proporcionados en distintas entrevistas a personal del sector, se llega a la conclusión de que el transporte de la barcaza es aproximadamente un 50 % del costo terrestre. Partiendo de esta suposición y con el objetivo de llegar a un costo específico de la barcaza se siguen los siguientes pasos:

- Con la ayuda de la aplicación Google Maps se calcula la distancia recorrida en barcaza 5.7.
- Con la distancia obtenida en el punto previo, se calcula el costo utilizando la curva mostrada en la imagen 5.6.
- Se supone que el costo de la barcaza es el 50 % del costo obtenido para el transporte terrestre.

²Tomando la densidad de la madera en $0,75 \text{ kg}/m^3$ [90] se realiza la conversión.

³Todos los datos y resultados son expuestos en toneladas.

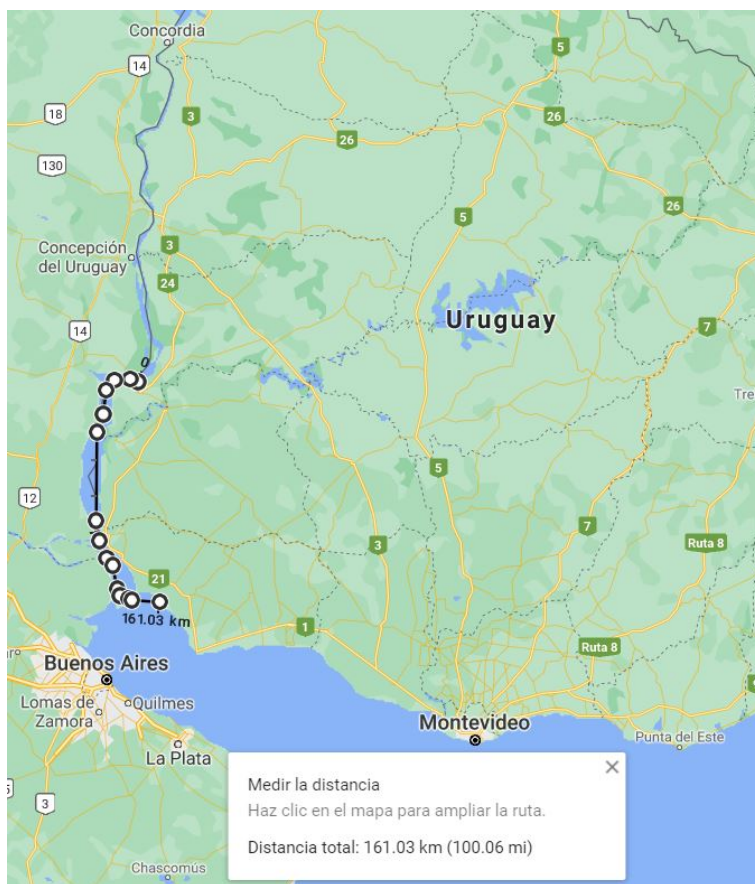


Figura 5.7: Estimación de distancia recorrida por barcaza desde puerto a planta de la empresa B

5.5. Escenarios

Al tomar una decisión respecto a qué tipo de colaboración se lleva a cabo en el caso de estudio, se presentan 2 escenarios que se consideran de interés.

- Considerar el 100 % de la cosecha anual de ambas de empresas y limitar a que se comparta el 5 % de esta cosecha. Se considera el mínimo de demanda entre ambas empresas para generar el tope.
- Considerar el 5 % de las cosechas de cada zonas.

Se toma la decisión de utilizar el escenario número 1 debido a que es más realista generar intercambio utilizando menos zonas, lo que resultaría más atractivo para las empresas participantes. El escenario 2 implica un mayor esfuerzo logístico y por ese motivo se considera de alta complejidad su ejecución.

5.6. Validación del Modelo

Para la validación y ejecución del modelo se utiliza el software GLPK, destinado a resolver problemas de programación lineal, programación de enteros mixtos, entre otros. La ejecución se realiza en dos PC laptops diferentes, un equipo Intel(R) Core(TM) i5-8250 CPU 1.80 GHz 8GB de Ram con Windows 10 y, el otro, Intel(R) Core(TM) i7-4510U CPU @ 2.00GHz 2.60 GHz con 8GB de Ram con Windows 10. El tiempo de ejecución en los dos equipos no supera los 0.1 segundos. Por este motivo, los equipos utilizados y el tiempo de ejecución no son una limitante en el problema.

Para validar el modelo se generan pruebas, usando una base de datos reducida y ejecutando casos de estudio, en los cuales es fácil de predecir el resultado esperado del modelo.⁴ También, se corre el modelo en casos de bordes donde el problema podría tener dificultades en el proceso de ejecución. Al ser matrices pequeñas, facilita la detección de problemas e inconsistencias. En la siguiente tabla se enumeran los casos que se realizan para validar el problema:

⁴Todos los datos y resultados de las validaciones se pueden ver en mayor profundidad en [A.2](#)

Casos de Validación	
1	Un período, una empresa y dos zonas de cosecha. Se supone demanda igual a la cosecha.
2	Un período, una empresa y dos zonas de cosecha. La demanda se considera mayor a la cosecha.
3	Un período, dos empresas y cuatro zonas de cosecha. Sin colaboración y demanda igual a la cosecha.
4	Un período, dos empresas y cuatro zonas de cosecha. Se considera la demanda mayor a la cosecha en una empresa y en la otra, la demanda menor a lo cosechado.
5	Un período, dos empresas y cuatro zonas de cosecha. La demanda se considera igual a lo cosechado. Se permite un 50 % de colaboración
6	12 períodos, dos empresas y cuatro zonas de cosecha. La demanda es igual a lo cosechado. Se permite un 100 % de colaboración.
7	12 períodos, con dos empresas y 20 zonas de cosecha. Y la demanda es mayor a lo cosechado
8	12 períodos, dos empresas y 20 zonas de cosecha. Se considera la demanda igual a lo cosechado
9	Supuestos de la validación 8. Se usa un porcentaje de intercambio del 5 % y Se usa un criterio de sumatorio anual, y no mensual para la colaboración.

Tabla 5.6: Pruebas de validación

5.6.1. Caso 1

Se analiza el modelo en un período, con una empresa y dos zonas de cosecha. Se supone que la demanda y lo cosechado es igual. Se suponen una demanda de 1000 Tm de trozas y dos zonas con una cosecha de 500 Tm cada una.

El objetivo que se busca en esta validación, es que el modelo transporte todo lo cosechado a la planta y se encuentre un punto óptimo.

El resultado en la ejecución es el esperado.

Empresa	Demanda [Tm]	Zona de Cosecha	Cosecha [Tm]
A	1000	Zona A_1	500
		Zona A_2	500

Tabla 5.7: Pruebas de validación 1

5.6.2. Caso 2

Se analiza el modelo en un período, con una empresa y dos zonas de cosecha. La demanda es mayor a la cosecha. La cosecha es de 1000 Tm, 500 Tm en cada zona de cosecha. Luego, la demanda se considera de 1100 Tm, generando una demanda mayor a lo que se puede cosechar.

El objetivo es que el modelo no encuentre el punto óptimo.

En una primera validación de la prueba, el modelo encuentra un óptimo y cumple con la demanda. Al no ser este el resultado deseado, se agrega una nueva restricción al modelo para corregir esta inconsistencia. Se agrega una nueva restricción que imponga que la demanda no puede ser mayor que la cosecha.

Empresa	Demanda [Tm]	Zona de Cosecha	Cosecha [Tm]
A	1.100	Zona A_1	500
		Zona A_2	500

Tabla 5.8: Pruebas de validación 2

Una vez agregada esta restricción, se vuelve a correr el caso de prueba y devuelve el resultado esperado, el problema no encuentra un óptimo.

5.6.3. Caso 3

Se analiza suponiendo un período, dos empresas y cuatro zonas de cosecha, dos por cada empresa. No se colabora y se considera la demanda igual a la cosecha.

En este punto se busca agregar la segunda planta y corroborar que el problema individualiza correctamente las zonas de cosecha y no cruza la información. El modelo encuentra un óptimo, y no cruza la información. Es el resultado esperado.

Empresa	Demanda [Tm]	Zona de Cosecha	Cosecha [Tm]
A	1.000	Zona A_1	500
		Zona A_2	500
B	1.000	Zona B_1	500
		Zona B_2	500

Tabla 5.9: Pruebas de validación 3

5.6.4. Caso 4

Se analiza el modelo en un periodo, dos empresas y cuatro zonas de cosecha, dos por cada empresa.

En esta validación se considera la demanda mayor a lo cosechado en una de las empresas y en la otra se considera un excedente de cosecha. Se toma nulo el porcentaje de intercambio.

El objetivo de esta prueba es validar que no distribuya el excedente de una planta para compensar el faltante de la otra. A su vez se espera que el modelo no encuentre un óptimo, ya que no puede cumplir con la demanda.

El modelo no encuentra un óptimo en la ejecución. Es el resultado esperado.

Empresa	Demanda [Tm]	Zona de Cosecha	Cosecha [Tm]
A	1.500	Zona A_1	500
B	1.500	Zona A_2	500
		Zona B_1	1.000
		Zona B_2	1.000

Tabla 5.10: Pruebas de validación 4

5.6.5. Caso 5

Se analiza el modelo en un período, dos empresas y cuatro zonas de cosecha, dos por cada empresa. La demanda se considera igual a lo cosechado para cada empresa. Se permite un 50 % de colaboración.

En este caso de prueba se permite la colaboración, por lo que es importante tener en cuenta los costos que se asignen a las zonas de cosechas y validar que el problema limite las colaboraciones correctamente. Se asignaron los costos de traslado de forma que sea beneficioso colaborar hasta un 100 %.

Se utiliza la misma demanda para ambas empresa y se busca que colabore hasta el 50 %.

El problema encontró el óptimo y cumple la restricción de no exceder el 50 % del intercambio.

Empresa	Demanda [Tm]	Zona de Cosecha	Cosecha [Tm]
A	1.000	Zona A_1	500
B	1.000	Zona A_2	500
		Zona B_1	500
		Zona B_2	500

Intercambio
50 %

Tabla 5.11: Pruebas de validación 5

5.6.6. Caso 6

Se consideran 12 períodos, con dos empresas y cuatro zonas de cosecha, dos por cada empresa. La demanda se supone igual a la cosecha para ambas empresas. Se permite hasta un 100 % de colaboración.

Es la primer prueba de validación que se realiza para varios períodos. En este caso los costos se introducen de forma que no sea conveniente colaborar en un 100 %, se espera que el modelo comparta hasta el punto que sea conveniente.

En el resultado esperado del ejemplo, es conveniente colaborar hasta el 50 % de lo cosechado. El resultado es el esperado.

Empresa	Demanda [Tm]	Zona de Cosecha	Cosecha [Tm]
A	1.000	Zona A ₁	500
B	1.000	Zona A ₂	500
		Zona B ₁	500
		Zona B ₂	500

Intercambio	Periodo
100 %	12 meses

Tabla 5.12: Pruebas de validación 6

5.6.7. Caso 7

Se analiza el modelo en 12 períodos, con dos empresas y 20 zonas de cosecha, 10 por cada empresa. La demanda se considera mayor a lo cosechado para la empresa A. Se espera que el modelo no encuentre resultado óptimo por la falta de cosecha para la planta de la empresa A. Se genera el resultado esperado.

Empresa	Demanda [Tm]	Zona de Cosecha	Cosecha [Tm]
A	10.000	10 Zonas A	500
B	5.000	10 Zonas B	500

Intercambio	Periodo
100 %	12 meses

Tabla 5.13: Pruebas de validación 7

5.6.8. Caso 8

Se analiza el modelo en 12 períodos, con dos clientes y 20 zonas de cosecha, 10 por cada empresa. La demanda se considera igual a lo cosechado.

Se espera que el programa no de problemas en la ejecución y de un resultado óptimo. Se genera el resultado esperado.

Empresa	Demanda [Tm]	Zona de Cosecha	Cosecha [Tm]
A	5.000	10 Zonas A	500
B	5.000	10 Zonas B	500

Intercambio	Periodo
100 %	12 meses

Tabla 5.14: Pruebas de validación 7

5.6.9. Caso 9

Tomando de referencia el caso de prueba 8, se usa un porcentaje de intercambio del 5 % y se verifica que el modelo use un criterio sumatorio anual, y no mensual para la colaboración.

El porcentaje de colaboración tiene en cuenta el total de todos los períodos para la construcción de lo colaborado. Que indique 50 %, de colaboración, no significa que colabore ese porcentaje en todos los períodos. Se espera, por ejemplo, que pueda colaborar parcialmente en un período 100 %, si es beneficioso, y en otro período compense con un porcentaje menor para equiparar.

Se analizan los resultados dados y se valida que el modelo se comporta de la forma esperada.

Una vez concluidas las pruebas iniciales, se extiende a la cantidad de zonas de cosechas totales (54 zonas de empresa A y 41 zonas de la empresa B) con período de un mes. Luego se incrementa los períodos hasta llegar al total de 12 meses.

Capítulo 6

Análisis de resultados

En este capítulo se analiza el comportamiento del problema al modificar algunos parámetros y se busca comprobar si el modelo es aplicable en distintos escenarios.

Luego se plantea el modelo con un enfoque más sustentable. Para esto, se calcula nuevamente la función objetivo optimizando los kilómetros recorridos de los camiones con el fin de reducir los niveles de emisiones de CO_2 y comparar los resultados con los obtenidos en el caso base.

6.1. Caso sin cooperación

Se denomina caso sin cooperación a la situación en la cuál se ejecuta el modelo y en el parámetro p (Porcentaje de colaboración respecto a la demanda total) se establece el valor cero. Esta situación, es la actual, ambas empresas trabajan de manera independiente sin colaborar con otras empresas.

6.2. Caso con cooperación

En este apartado, se explica el caso con cooperación que se utiliza para la ejecución del programa. Debido a que la mayoría de los datos ya estaban definidos como fueron explicados en el capítulo 5, el principal desafío al definir el caso con cooperación es qué valor de porcentaje de intercambio utilizar.

En un principio se considera que el programa pudiera definir por su cuenta qué porcentaje de intercambio podría ser el óptimo. Sin embargo, de la opinión del encargado de logística de una empresa forestal, considera que definir un 7% como máximo podría ser interesante y dar buenos resultados y al mismo tiempo ser viable.

Si bien definir el valor utilizado puede llevar a que no se aplique el óptimo a nivel de costos, es de gran utilidad fijar un porcentaje de intercambio ya que esto aumenta la posibilidad de llevar a cabo la cooperación.

El porcentaje utilizado es una suposición. De todas formas, debido al tiempo y dinero dedicado a los programas de mejoramiento genético de las plantaciones [91], es evidente que dicho porcentaje no puede ser muy elevado, ya que de lo contrario, cooperar no sería algo llamativo para las empresas.

Teniendo en cuenta lo mencionado, el valor se fija en un 5 % de intercambio entre las empresas.

6.2.1. Resultados de caso con cooperación

En esta sección se presentan los resultados obtenidos al ejecutar el programa bajo las condiciones del caso con cooperación y se compara con el caso sin cooperación.

Se realiza la comparación con los valores que se obtienen al colaborar, frente al caso sin colaboración, siendo este último fijado en 100 %.

En primer lugar se ejecutó el programa de optimización de costos obteniendo los siguientes resultados.

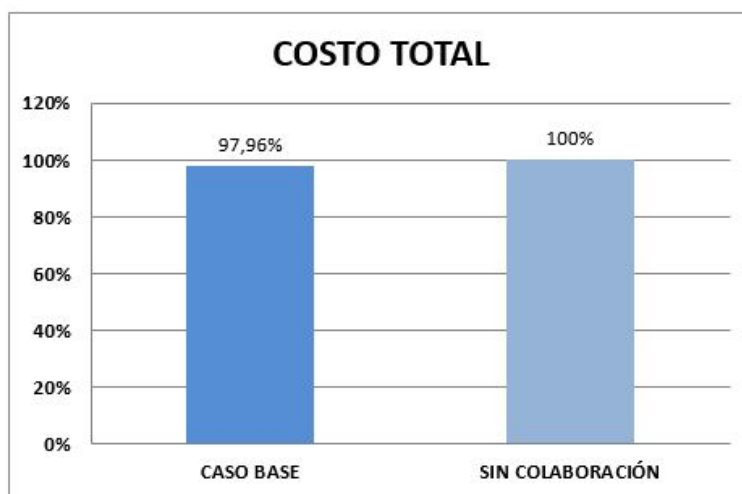


Figura 6.1: Comparación de resultados obtenidos de costo total

Como se puede observar en el la figura 6.1 se obtiene una reducción en el costo total del transporte. En términos porcentuales, esa diferencia es de un 2.04 % de ahorro.

Es esperable manejar ahorros que se encuentren por debajo del nivel del porcentaje de intercambio.

En términos absolutos los ahorros obtenidos son de U\$S 1.179.257. El costo ahorrado es sobre el costo total de las dos empresas, por lo tanto ese beneficio es una ganancia mutua.

Una vez ejecutado el programa para ambos casos, también se obtiene el resultado del contador de barcazas.

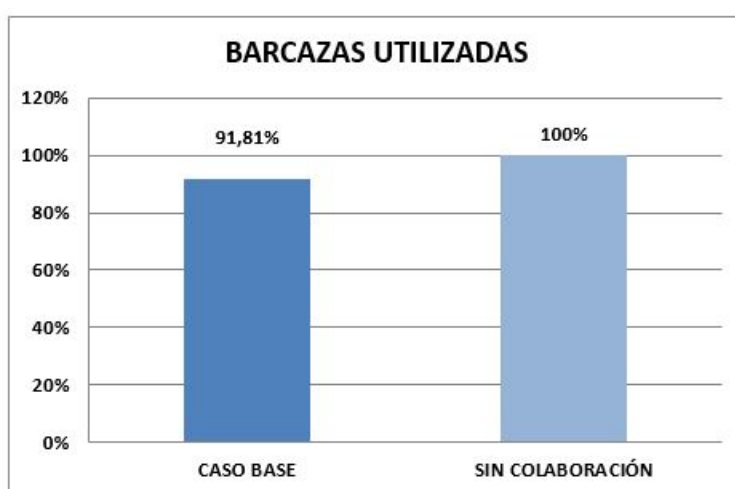


Figura 6.2: Comparación de resultados obtenidos en barcazas utilizadas

Considerando 100% el caso de “sin colaboración”, la diferencia entre los dos casos resulta en una disminución de un 8.19% en el uso de barcazas al permitir el intercambio de 5%.

Como se explicó en el capítulo 5, es más económico por kilómetro trasladar las trozas vía fluvial, que por vía terrestre. Por este motivo, se tiende a pensar que el recurso de la barcaza podría aumentar para disminuir el costo. Por el contrario, al observar la figura 6.2 se puede ver que esto no es así.

Un motivo de este resultado, es que la empresa que utiliza el transporte por barcaza, tiene definido enviar las trozas que se cosechan del norte del Río negro por esta vía. Por lo tanto, las trozas que se encuentran en esa zona van en su totalidad por barcaza.

A su vez, el puerto de carga es cercano a la planta de la otra empresa. Entonces al permitir la colaboración, toda cosecha por arriba del Río Negro pasa a ser beneficioso para el intercambio. Por lo que el programa decide utilizar como trueque gran parte de esas trozas.

Otro punto a analizar que justifica la reducción de costos, además de la reducción de barcazas, es la disminución en el total de kilómetros. Esta reducción también se ve reflejado directamente en los costos.

Al analizar los resultados obtenidos, se obtiene una reducción de 1.78% de ahorro en los kilómetros recorridos por vía terrestre, resultado que se ilustra en la figura 6.3.

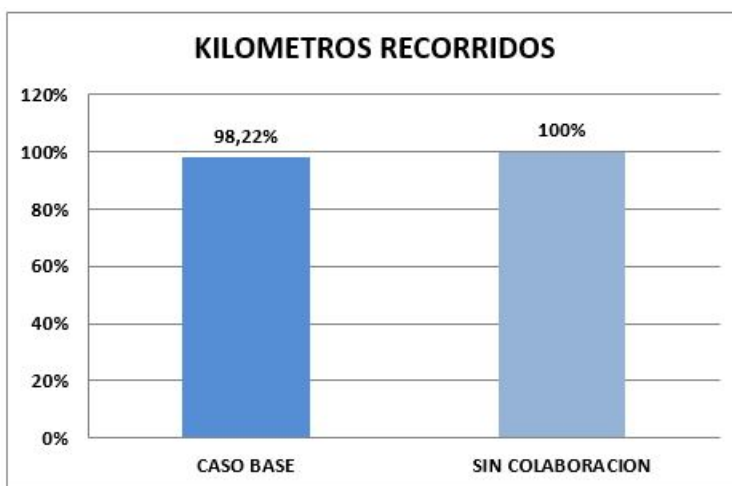


Figura 6.3: Comparación de resultados obtenidos en kilómetros recorridos

En las imágenes 6.4 y 6.5 se observa las ubicaciones de las zonas de cosecha que intercambian trozas entre las empresas luego de ejecutar el modelo. Para la empresa B, el modelo decide intercambiar en siete zonas de cosecha ubicadas al norte del Río Negro, mientras que la empresa A resuelve intercambiar en seis lugares de cosecha.



Figura 6.4: Zonas de cosecha que intercambia empresa B que utiliza barcazas

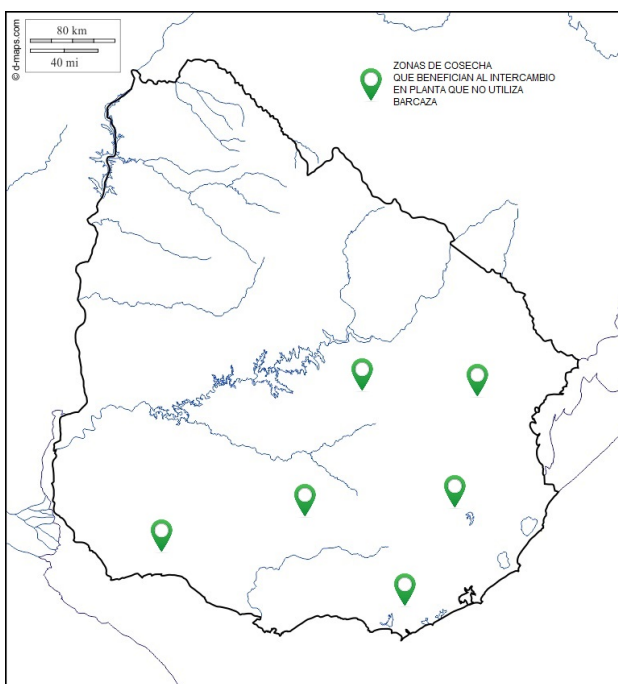


Figura 6.5: Zonas de cosecha que intercambia empresa A

6.3. Análisis de Sensibilidad

Para iniciar el análisis de sensibilidad, se ejecuta el modelo matemático variando el porcentaje de colaboración. La variación comienza en cero por ciento y se incrementa en intervalos de un por ciento hasta llegar a cien. Teniendo estos datos, se analizan los resultados y las tendencias.

El primer análisis de interés es evaluar el ahorro monetario según avanza el porcentaje de colaboración. En la figura 6.6 se ve con claridad un estancamiento del ahorro a partir del 44 % de intercambio.

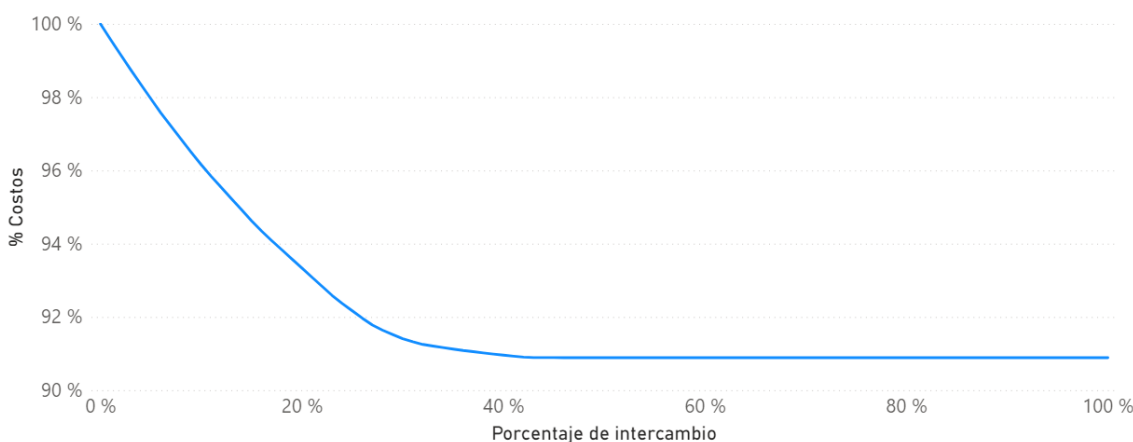


Figura 6.6: Tendencia de los ahorros según el porcentaje de colaboración.

El máximo de ahorro es de un 9.11 %. El inconveniente de llegar a este valor de ahorro es la necesidad de colaborar con un 44 % de la demanda. Llegar a ese valor de intercambio no es algo viable, el objetivo es obtener el mayor porcentaje de ahorro manteniendo bajo el porcentaje de colaboración.

¿Qué se define como porcentaje bajo de colaboración? Es relativo. En esta oportunidad, se busca mantener un porcentaje de colaboración menor al 10 %, cualquier valor por encima de ese porcentaje es considerado no viable.

Otro punto a analizar es en qué valor deja de intercambiarse todo lo disponible para compartir. Por más que siga aumentando la cantidad de toneladas que se permitan intercambiar, el modelo decide que no es conveniente realizar el intercambio. Este quiebre se da en el 49 % en donde se intercambian 952.070 Tm de los 952.070 Tm posibles. En cambio en 50 %, se intercambian 962.931 Tm de 971.500 Tm disponibles para intercambiar.

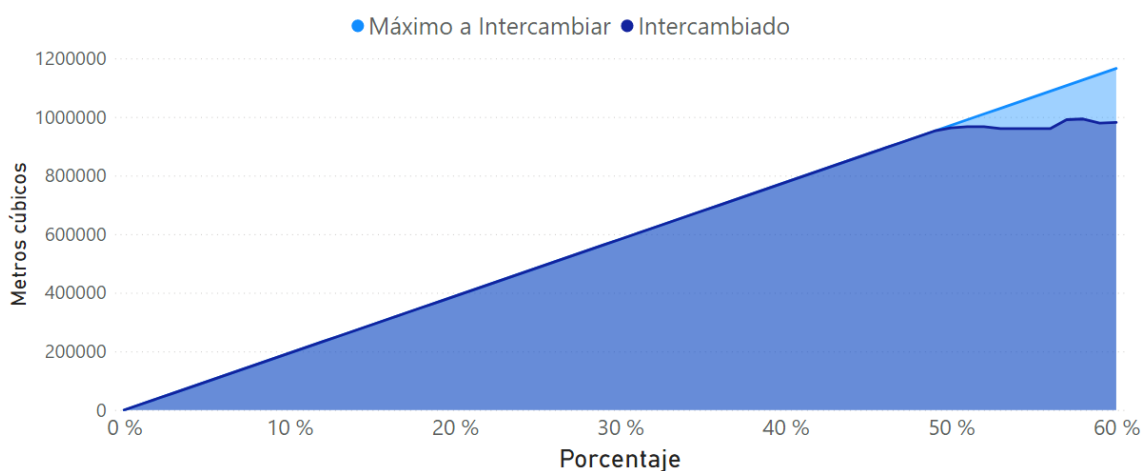


Figura 6.7: Toneladas intercambiadas versus máximos a intercambiar.

La explicación de los ahorros obtenidos se observa en las zonas de cosecha que originalmente se dirigían por barcaza a la planta de la empresa B. La distancia entre el puerto donde cargan las barcasas y la planta de la empresa A, son 6 km. Por lo tanto, todas las trozas de la empresa B que va hasta el puerto, es más rentable enviarlo a la planta de la empresa A, ya que se ahorra el viaje de la barcaza. Para contrarrestar esta falta de abastecimiento, se envían de otra zona más cercana a la planta de la empresa B, trozas de las zonas de cosecha de la empresa A.

Esta tendencia se ve analizando la cantidad de barcasas (figura 6.8) que se usa por porcentaje de intercambio en el modelo. Sin colaboración, la empresa B transporta 225 barcasas para cumplir con la demanda. A medida que colabora, esas barcasas van disminuyendo.

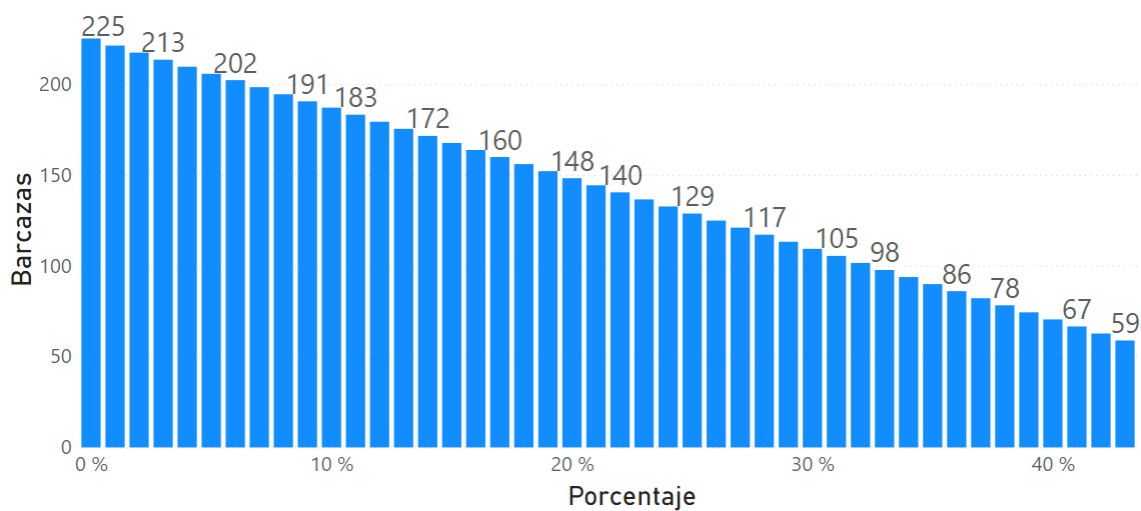


Figura 6.8: Cantidad de Barcazas según porcentaje de intercambio.

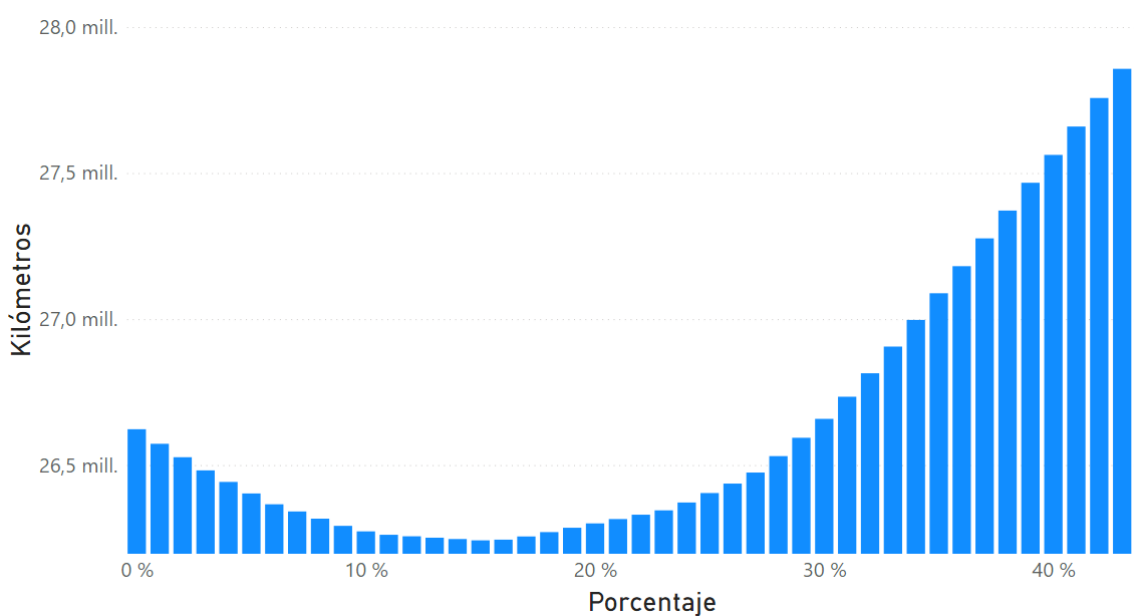


Figura 6.9: Total de kilómetros según porcentaje de intercambio.

Comparando las figuras 6.8 y 6.9, se puede diferenciar dos etapas en los gráficos, En primer lugar, a medida que se aumenta el porcentaje de colaboración, la tendencia

de transportar por barcaza disminuye al igual que los kilómetros totales. Esto ocurre hasta el 15% de colaboración.

En la figura 6.10 se presenta la etapa 1 en un ejemplo que ilustra estos resultados mostrando la situación sin colaboración versus la situación con colaboración en dicha etapa.

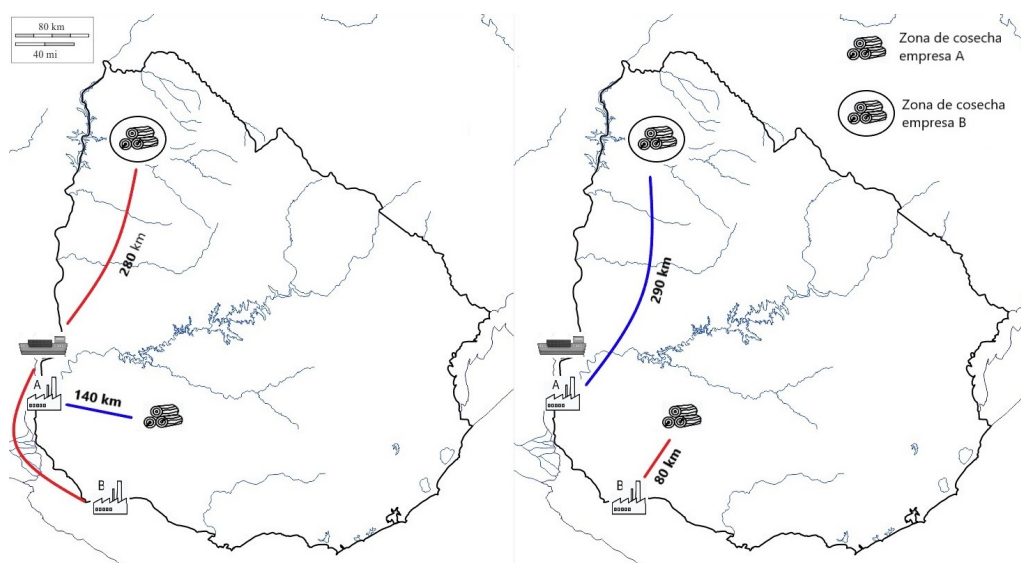


Figura 6.10: Etapa 1: Situación sin colaboración versus con colaboración. (De izquierda a derecha)

Se observa que en un principio se recorre 280 km sumado a 140 km, ambos terrestres, dando un total de 420 km y una barcaza. Luego de la colaboración, se recorren 290 km sumado a 80 km, lo que sería un total de 370 km entre ambas empresas y ninguna barcaza.

No sólo los camiones de las zonas de cosecha de la empresa B, que irían a la barcaza para transportar a la planta de la empresa B, van a la planta de la empresa A, ahorrando el uso de la barcaza. Sino que las zonas de cosecha de la empresa A, están más cerca de la planta de la empresa B, por lo tanto al generar el intercambio, también se genera una reducción del total de Kilómetros terrestres recorridos.

En la segunda etapa, a partir del 15% de colaboración, se llega a un mínimo de kilómetros recorridos y a partir de este valor comienza a aumentar. Lo que demuestra esto es que es más rentable llevar vía terrestre directo hasta la planta, en lugar de hacer terrestre y fluvial.

Al igual que la etapa anterior, se presenta la imagen 6.11 correspondiente a la situación sin y con colaboración.

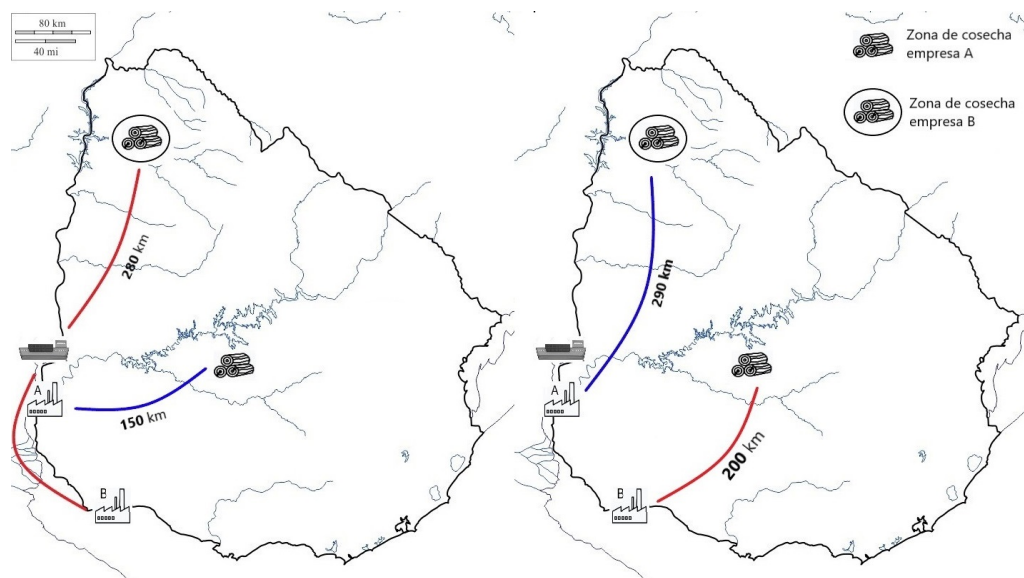


Figura 6.11: Etapa 2: Situación sin colaboración versus con colaboración (De izquierda a derecha)

6.4. Resultados enfoque sustentable

A pesar de obtener resultados indirectamente favorables a nivel sustentable al reducir el costo en el transporte, se plantea una variación al modelo. Por lo que se cambia la función objetivo y se plantea minimizar los kilómetros recorridos a diferencia de minimizar el costo. El objetivo de la presente sección es comparar los resultados con respecto al caso con cooperación.

Se corrieron ambos modelos en condiciones de caso con cooperación variando el porcentaje de colaboración desde 0 hasta 100% en intervalos de a 1%. De esta forma se obtuvo la siguiente imagen 6.12 que solapa ambos gráficos de kilómetros recorridos en función del porcentaje de intercambio.

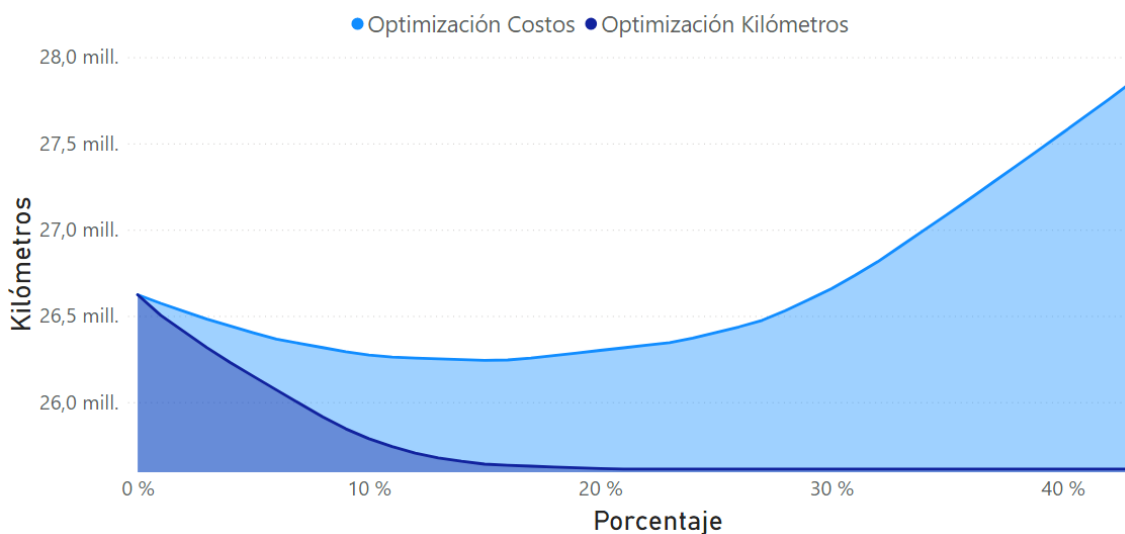


Figura 6.12: Comparación de cantidad de kilómetros recorridos según el porcentaje de intercambio.

Como se expuso previamente, al optimizar los costos, se observa el cambio de derivada al llegar al 15 % de intercambio, mientras que al optimizar los kilómetros, el modelo se comporta correctamente disminuyendo el recorrido realizado hasta llegar a 43 % donde la derivada se vuelve cero y no se observan variaciones al aumentar el porcentaje de colaboración.

Por otro lado, se compara los resultados observados en la imagen 6.13 donde se visualizan las barcazas utilizadas según el % de intercambio. Al optimizar los costos, se observa una disminución homogénea en el uso de barcazas, mientras que al optimizar los kilómetros, se mantiene en un rango de [207,238] barcazas. La interpretación del resultado es que a medida que se aumenta dicho intercambio, el modelo resuelve que el recorrido marítimo es óptimo en términos de distancia antes de realizar recorridos terrestres, a medida que el intercambio aumenta, el modelo resuelve que es óptimo enviar vía terrestre esas trozas que antes optaba por enviar por barcaza.

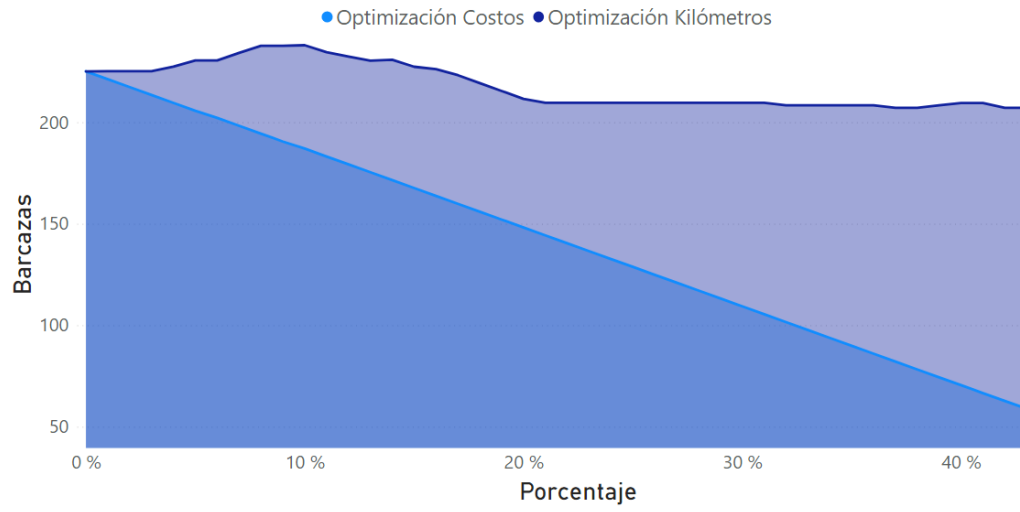


Figura 6.13: Comparación de cantidad de barcasas.

Capítulo 7

Ejecución del proyecto y análisis financiero

Tener un modelo matemático que de buenos resultados y funcione no es suficiente para poder poner en marcha un proyecto. Hay que evaluar distintos aspectos, tanto económicos como sociales.

Se mencionan aspectos a considerar y las distintas limitantes que se pueden presentar a la hora de ejecutar una cooperación entre empresas competidoras.

Todo proyecto implica un inversión, hay que invertir tiempo, recursos humanos, materiales y dinero. Para evaluar si vale la pena realizar esta inversión se plantea un análisis financiero que permita determinar la rentabilidad del mismo.

Adicionalmente, se considera necesario contemplar limitantes legales y riesgos laborales al ejecutar el proyecto.

7.1. Puesta en marcha

A lo largo del estudio bibliográfico se menciona reiteradamente que una limitante para la ejecución de una alianza entre empresas competidoras, es el intercambio de datos e información confidencial. Este aspecto suele generar resistencia a la hora de optar por colaborar con la competencia. El intercambio de información es fundamental para que se puedan llevar a cabo este tipo de estrategias, sin embargo, es complejo encontrar un punto intermedio entre generar una buena base de datos y brindar una ventaja competitiva a la competencia.

La propuesta planteada en este modelo es optar por una empresa terciarizada que cumpla el rol de desarrolladores, ejecutores y mediadores del proyecto. Esta compa-

ñaía debe en primer lugar, recibir los datos de planificación de cosecha, luego deberá ejecutar el programa con los datos de las dos empresas juntas y por último devolver a cada una de ellas la nueva planificación de cosecha que le corresponde.

La tabla 7.1 muestra un ejemplo de la información que debe recibir la empresa tercerizada en una primera instancia. Cada una de las empresas tiene una planificación de cosecha y transporte definida la cual es compartida a la empresa tercerizada en un formato similar al de la tabla 7.1.

Cosecha empresa A			Cosecha empresa B		
Zonas	Mes 1 [Tm]	Mes 2 [Tm]	Zonas	Mes 1 [Tm]	Mes 2 [Tm]
1	5.000	0	1	1.000	0
2	10.000	0	2	0	2.000
3	0	5.000	3	12.000	14.000
Total	15.000	5.000	Total	13.000	16.000

Tabla 7.1: Ilustración reducida de datos recibidos para la ejecución del programa

En el ejemplo de la tabla 7.1 se presenta una situación donde cada empresa tiene una planificación de cosecha ya definida. En esta planificación de 2 meses, cada empresa cuenta con 3 zonas de cosecha. En esta situación, las empresas recolectan el total de la madera cosechada en cada zona y cada período.

Luego de que la empresa tercerizada ingresa los datos y ejecuta el programa, le devuelve a las empresas la siguiente información presentada en la tabla 7.2.

Las empresas mantienen sus zonas de cosecha, lo que se modifica es el transporte de las zonas de cosecha a las plantas. En esta situación de colaboración hay algunas toneladas que deben ir a buscar a las zonas de la empresa competidora.

A cada una de las empresas solo se le muestra una tabla con las cantidades a transportar de cada zona para que de esta manera se preserven los datos de cosecha de las empresas.

Es importante resaltar que la cantidad de toneladas que una empresa va a buscar en zonas de cosecha de la competencia coinciden con la cantidad que la empresa competidora retira de sus zonas. De esta manera la colaboración es la misma y no hay ninguna empresa que se encuentre en desventaja.

Recolecta empresa A		
Zonas	Mes 1 [Tm]	Mes 2 [Tm]
<i>ZA 1</i>	5.000	0
<i>ZA 2</i>	9.000	0
<i>ZA 3</i>	0	5.000
<i>ZB 1</i>	1.000	0
<i>ZB 2</i>	0	0
<i>ZB 3</i>	0	0
Total	15.000	5.000

Recolecta empresa B		
Zonas	Mes 1 [Tm]	Mes 2 [Tm]
<i>ZA 1</i>	0	0
<i>ZA 2</i>	0	0
<i>ZA 3</i>	0	1.000
<i>ZB 1</i>	1.000	0
<i>ZB 2</i>	0	2.000
<i>ZB 3</i>	12.000	13.000
Total	13.000	16.000

Tabla 7.2: Planificación recolecta en situación de colaboración

Con el objetivo de mantener la confidencialidad de datos en los niveles más altos posibles, se propone que al enviar la nueva planificación, se adjunte la ubicación de las zonas de cosechas solamente de aquellas con valor diferente a cero. En el ejemplo ilustrado, la empresa A recibe la ubicación de la zona de cosecha 1 de la empresa B. Mientras que la otra parte, recibe la información necesaria de la zona de cosecha 3 de la empresa A.

Siguiendo la línea de privacidad de datos, se recomienda tener precaución en el método que se utiliza para enviar la información. No se recomienda el uso de casillas de correo electrónico. Se considera que una alternativa confiable sería manejar un dominio, donde cada empresa genere un usuario con el cual pueda iniciar sesión y agregar sus datos de cosecha. Estos datos serían visualizados únicamente por un usuario administrador de la empresa subcontratada.

Los usuarios tendrían acceso a datos históricos y resultados que se han logrado gracias a la colaboración. A su vez, se podrían generar con herramientas, como Power BI, distintas gráficas que permitan ver la evolución y los ahorros que se han generado a causa de la colaboración.

7.2. Riesgos laborales

Ante cualquier cambio que se presente en las organizaciones, existe el riesgo de que algún grupo de personas, las cuales se ven afectadas ante el cambio, no estén conformes. Es por eso que se considera necesario saber cuándo y cuál es la mejor manera posible de presentar dicho cambio. Antes de proponer el cambio es necesario estudiar detalladamente quiénes son los involucrados que se verán afectados y cuál es la mejor manera de proponerlo y llevarlo a la práctica.

A lo largo de la carrera, se presentan asignaturas que apuntan a aspectos que no son específicamente técnicos, sino humanos. Por ejemplo, estudiamos los derechos del trabajador. Como establece en el material de estudio del curso de Legislación y relaciones industriales, la libertad sindical, es considerada un derecho legal. Donde también se agrega el artículo 57 de la constitución uruguaya donde establece que la huelga es un derecho gremial.

Existe la posibilidad de que un sector interno de trabajadores no estén conformes con la nueva alianza, en particular, el sector vinculado al transporte. Por ese motivo, es necesario entender que es un escenario factible y es parte de los derechos de los trabajadores. Por ende, es importante pensar formas correctas de gestionar el cambio.

Como recomienda el Mario Rodríguez en el curso de gestión de mantenimiento [92], es conveniente presentar estos procesos de cambios en momentos estratégicos para la empresa, de forma que no coincidan con situaciones críticas o con procesos de negociación, como los asociados a convenios colectivos, cambios de ubicaciones de plantas, reestructuraciones o fusiones.

7.3. Proyecto de inversión

En el siguiente apartado se presenta el análisis del proyecto de inversión realizado en un plazo de 5 años. Para hacer el análisis se crea una planilla de Excel basada en herramientas adquiridas en un curso de evaluación económica y financiera. ¹

Se plantea una evaluación del proyecto basado en cinco años. En el primer período, denominado año cero, se consideran los gastos iniciales referidos a inversiones. Esto incluye el gasto inicial de la compra del software de ejecución de optimización. Como se mencionó en la sección anterior, sería una ventaja tener una plataforma donde ambas empresas puedan ingresar sus datos y ver la evolución de la colaboración y los datos históricos. Por ende, esa inversión podría incluir desde una página de internet,

¹Todos los cálculos son en dólares americanos.

a una aplicación para dispositivo móvil. Para dicha inversión se estima un costo de U\$S 200.000.

Debido a que se recomienda subcontratar el servicio que lleve a cabo el proyecto, no es necesario contar con una inversión inicial que incurra en gastos edilicios o de alquiler. Sumado a esto, no es necesario considerar gastos de mantenimiento, seguros o servicios esenciales. Dicho esto, a partir del primer año se comienza a considerar el gasto anual por contratar a la empresa prestadora del servicio tercerizado.

El gasto se ajusta de forma anual por IPC, estimado en 8%. Para el cálculo del gasto no se tiene ninguna referencia, por lo tanto se estima tres personas necesarias para ejecutar dicho proyecto. Una persona especialista en software, un analista de datos y un mediador entre ambas empresas.

Tomando de referencia ocho horas diarias en 20 días de trabajo por mes, se calcula el costo anual de cada operario. Se agregan adicionalmente gastos extras del empleado. Estos costos son simplemente una forma de estimar qué dinero debería asignar la empresa tercerizada por tener tres empleados a disposición del proyecto y de esa forma estimar el costo del servicio. En la tabla 7.3 se ilustra la idea del proceso de la evaluación de gasto.

PERSONAL			
Categoría	Cantidad	Salario nominal	Salario nominal
Ingeniero (Analista de datos)	8 horas	800 UYU	18 USD/hora
Ingeniero (Implementación y mant. de soft.)	8 horas	2.400 UYU	55 USD/hora
Mediador entre empresas	8 horas	1.400 UYU	32 USD/hora

Tabla 7.3: Planilla de costos por personal

Estimación de costo por tercerarizar el servicio con 3 empleados					
Año	1	2	3	4	5
Empleados					
Analista de datos	34.909	37.702	40.718	43.975	47.493
Encargado de software	104.727	113.105	122.154	131.926	142.480
Intermediario	61.091	65.978	71.256	76.957	83.114
TOTAL SUELDOS	200.727	216.785	234.128	252.858	273.087
Horas extra	10.036	10.839	11.706	12.643	13.654
Montepíos	37.937	40.972	44.250	47.790	51.613
Aguinaldos	16.727	18.065	19.511	21.072	22.757
Salario Vacacional	13.382	14.452	15.609	16.857	18.206
TOTAL COSTO MANO DE OBRA	278.809	301.113	325.204	351.220	379.317

Tabla 7.4: Cálculo estimado total de mano de obra

Para el cálculo de los ingresos se corre el programa en condiciones de caso con cooperación con un porcentaje de intercambio nulo. Al resultado del costo total, se le resta el valor al ejecutar el programa cambiando únicamente el porcentaje de intercambio a cinco por ciento. El valor obtenido indica el ahorro al colaborar, por lo tanto el ingreso en el flujo de fondos.

Los primeros dos años se consideran de implementación y planificación, a partir del tercer año se ejecuta, el ingreso obtenido se considera a partir de este año. También se estima que cada año existe un aumento por IPC del ingreso.

Ambas empresas estudiadas en el caso práctico operan en régimen de zona franca. Por ese motivo, se encuentran exoneradas del Impuesto a la Renta de las Actividades Económicas. Normalmente, significaría un egreso de un 25 por ciento sobre la utilidad previo a impuestos. El artículo 54 del decreto N° 309/018 [93] especifica dicha exoneración.

Otro egreso considerado es una auditoría anual externa. Al manejar información de valor, es necesario manejar una evaluación con una empresa que no tenga ningún vínculo con ninguna de las tres partes. El costo estimado se establece en U\$S 3.000 con su respectivo aumento anual.

Una de las posibilidades estudiadas en el proyecto de inversión es la solicitud de un préstamo. Consideramos que la inversión no es un monto considerable, pero también pensamos que muchas veces las empresas se manejan con un presupuesto de gasto ya establecido y una inversión sería quitarle recursos necesarios a un área. Por lo tanto, nos parece adecuado mencionar la posibilidad de financiar el proyecto con un

préstamo.

Con los parámetros mencionados, se completa la tabla y se obtiene el flujo de fondos. Luego se calcula el Valor Actual Neto. Por último se calcula la Tasa Interna de Retorno.

FLUJO DE FONDOS						
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos			0	1.341.000	1.448.280	1.564.142
Costo servicio tercerizado		-278.810	-301.115	-325.204	-351.221	-379.318
Auditoría externa		-3.000	-3.240	-3.499	-3.779	-4.081
Intereses		0	0	0	0	0
Utilidad antes de impuestos		-281.810	-304.355	1.012.297	1.093.280	1.180.743
IRAE Decreto N° 309/018		0	0	0	0	0
Utilidad luego de impuestos		-281.810	-304.355	1.012.297	1.093.280	1.180.743
Inversión inicial	-201.000					
Pago del préstamo		0	0	0	0	0
Préstamo	0					
FLUJO DE FONDOS	-201.000	-281.810	-304.355	1.012.297	1.093.280	1.180.743

Tabla 7.5: Flujo de fondos a 5 años del proyecto de inversión

La tabla 7.5 muestra la tabla utilizada para el calculo de flujo de fondos. En la tabla 7.6 se describe los valores de VAN y TIR. El VAN obtenido es de U\$S 406.160 mientras que la TIR devuelve un porcentaje de 63.32 %

VAN	406.160	Si el VAN es positivo se puede afirmar el proyecto es rentable, ya que se compensan las inversiones y se generan ingresos
TIR	63.32 %	El TIR es la tasa necesaria para que el VAN sea 0.

Tabla 7.6: Resultados de VAN y TIR obtenido de la herramienta Excel.

Se concluye así que bajo las suposiciones presentadas el proyecto es altamente rentable a nivel financiero.

Capítulo 8

Conclusiones y oportunidades de mejora

Este capítulo pretende analizar los resultados de los objetivos planteados. Se busca reflexionar y realizar una breve puesta a punto de los resultados obtenidos del análisis de datos.

Luego se exponen distintas oportunidades de mejora que pueden servir como punto de partida para futuros trabajos e investigaciones.

8.1. Conclusiones

Los objetivos se plantearon en dos grandes bloques, por un lado los objetivos generales y luego objetivos más específicos.

Como primer y gran objetivo general se planteó realizar una extensa revisión bibliográfica y elaboración del estado del arte. Se puede afirmar que se cumplió con éxito este objetivo. Se analizaron una variedad de artículos, papers e investigaciones, que como resultado generaron un estado del arte de cooperación horizontal, con información que puede ser utilizada como punto de partida para futuras investigaciones.

Dentro de la revisión bibliográfica se cumplieron objetivos adicionales tales como el estudio de las alianzas y coaliciones. A su vez se analizaron las distintas metodologías que permitieran identificar oportunidades de ahorro.

Luego de investigar el contexto forestal en el Uruguay, se concluye que es un sector que está instalado en el país, pero aún está en crecimiento. De todas maneras, al realizar la búsqueda bibliográfica, los artículos relacionados con cooperación horizontal a nivel forestal son escasos, por lo que se tiene una oportunidad de apertura

a nuevas investigaciones.

Con respecto a la asignación de costos, se obtuvo un conocimiento teórico que no fue implementado en el modelo debido al alcance del proyecto, dejando así un tema abierto para futuras aplicaciones. Se considera que puede ser interesante tomar esta tesis como base para generar un modelo que asigne los beneficios a las distintas empresas involucradas en la colaboración.

En lo que respecta a generar un modelo matemático y cumplir con el objetivo de generar un modelo que optimice el escenario planteado, que encuentre un óptimo y brinde una planificación, el objetivo se cumplió. Sabiendo si, que es un modelo teórico y que si se quiere llevar a la práctica deben de adaptarse a las casuísticas reales, sin embargo, como punto de partida se considera que es un modelo que puede ser de utilidad.

Siguiendo con el análisis del cumplimiento de los objetivos específicos, mediante las entrevistas, datos públicos y datos de empresas privadas disponibles para todo público, se pudo generar una base de datos para poder ser aplicados en el modelo realizado y generar un caso de estudio que resulta enriquecedor para el trabajo ya que permite tener un resultado más específico del modelo elaborado.

Analizando los resultados del modelo, en el caso donde se permite un 5% de intercambio de trozas, las empresas obtienen un ahorro de 2,04% del costo total. También se obtiene una disminución de 1,78% de los kilómetros totales recorridos. A su vez, se comporta de forma estable al realizar los análisis de sensibilidad planteados, obteniendo un ahorro máximo de 9,11% del costo total al permitir un intercambio de un 44% de las trozas cosechadas. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se concluye que la cooperación horizontal en el modelo propuesto genera beneficios a nivel económico y a nivel sustentable.

8.2. Oportunidad de mejora y trabajos futuros

Resulta interesante mencionar todas aquellas oportunidades de mejora que fueron detectadas a lo largo de la elaboración del proyecto. Exponerlas de manera detallada puede ser una motivación para futuras investigaciones. Por lo que generamos una lista con oportunidades de mejora y estudio:

	Oportunidades de mejora
1	Mejorar la georeferenciación de los montes
2	Mejorar el ruteo de los camiones, conociendo más a fondo rutas y pasos permitidos
3	Mejorar base de datos, agregando la georeferenciación de más montes, actualizando costos, distancias y posibles limitantes
4	Realizar el modelo y análisis con más de dos empresas que colaboren
5	Considerar stocks acumulados en los distintos periodos
6	Aplicación de backhauling
7	Asignación de Costos

Tabla 8.1: Oportunidades de mejora

1. Mejorar georeferenciación de los montes:

Parte de los datos de georeferenciación obtenidos para el presente trabajo fueron establecidos mediante aproximaciones. Si se pudiese tener la georeferenciación exacta de cada uno de los montes se obtendría así un resultado más preciso en cuanto a los kilómetros recorridos.

2. Mejorar ruteo de camiones, conociendo más a fondo rutas y pasos permitidos:

Al igual que en el punto anterior, conocer con exactitud todas las rutas que permiten el paso de estos camiones. Así también, la obtención de planillas actualizadas de costos, distancias, parámetros importantes para el resultado.

3. Mejorar base de dato agregando la georeferenciación de más montes: La calidad de la base de datos es fundamental para lograr una solución más realista y más completa. Si bien mientras más datos se ingresen en el modelo, más complejo resulta, la solución que presenta se aproxima más a la realidad. Si se trabaja con un programa más robusto, esto puede permitir el ingreso de más montes lo que daría lugar a una solución de mayor calidad.

4. Realizar el modelo y análisis con más de dos empresas que colaboren:

Una alternativa para analizar, es expandir el modelo y generar colaboraciones entre más empresas y así analizar como se comporta la cooperación, cómo afectaría a los beneficios y a sus puntos negativos. Tener el estudio, de generar la cooperación, entre 3 o 4 empresas, puede generar una visión aún más interesante del tema.

5. Ampliar el modelo considerando stocks acumulados en los distintos periodos:

El supuesto que planteamos en nuestro modelo, tiene una limitante al suponer que la demanda es igual que la cosecha. En situaciones reales, las empresas

cuentan con stocks de seguridad y excedentes en la cosecha de las trozas. Considerar los planes de cosecha y sus stocks, independiente de la demanda, implicaría ampliar el modelo agregando una variable que considere lo que se ha ido acumulando los meses anteriores. Generaría un análisis aún mayor para estudiar el tema y profundizar.

6. Aplicación de backhauling:

Para profundizar sobre mejoras en ahorros económicos, se propone combinar el modelo utilizado con el backhauling. Este concepto se enfoca en aprovechar el viaje de retorno de los camiones, con el objetivo de no hacer traslados sin mercadería. De esta forma se lograría una cooperación horizontal de intercambio de mercadería combinado con backhauling cooperativo.

7. Asignación de Costos:

Estudiar en profundidad todas las variables y restricciones que pueden afectar la colaboración, estudiando cuál metodología de asignación de costos es la más conveniente para distribuir dichos costos. Se propone como trabajo complementario, evaluar entre el método Nucleolus, Shapley o EPM cuál genera mas beneficios económicos para ambas partes en el caso de estudio planteado en el presente informe. También se puede aplicar el mismo estudio al extender el caso de estudio a más participantes involucrados en la colaboración. A medida que aumentan los participantes, incrementa la complejidad de dicha distribución. El objetivo es aumentar la probabilidad de que la cooperación pueda llevarse a cabo con éxito.

Bibliografía

- [1] Banco Interamericano de Desarrollo. Logística agroindustrial del Uruguay, 2018. <https://tinyurl.com/xs8mfpu>. Acceso 20 de mayo de 2021.
- [2] Mariana Boscana, Leonardo Boragno, and Emilia Arriaga. Estadísticas Forestales 2021. Technical report, Dirección General Forestal - MGAP, 2021. <https://tinyurl.com/dwz49wc>. Acceso 30 de julio de 2021.
- [3] Rosario Pou Ferrari. Un poco de historia de la Industria Forestal, 2019. <https://tinyurl.com/2sray5k7>. Acceso 31 de julio 2021.
- [4] Parlamento del Uruguay. Ley Forestal - Fondo Forestal - Recursos Naturales. Normativa y avisos legales del Uruguay, 2017. <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/15939-1987>. Acceso 16 de junio 2021.
- [5] Pablo Ferrer and Virginia Lirola. La actividad forestal en Uruguay. *Revista de Derecho*, 11(21):117–167, Agosto 2012. <http://revistas.um.edu.uy/index.php/revistaderecho/article/view/626/727>.
- [6] Patricia Gamio. El precio de la competitividad, 2016. <https://tinyurl.com/ymephfsk>. Acceso 14 de marzo 2021.
- [7] Jorge Carro-Suárez, Susana Sarmiento-Paredes, and Genoveva Rosano-Ortega. La cultura organizacional y su influencia en la sustentabilidad empresarial. la importancia de la cultura en la sustentabilidad empresarial. *Estudios gerenciales*, 33(145):352–365, 2017.
- [8] Peter Poschen. *La industria forestal: definición*, chapter 68, pages 1–46. Ocea-nía, 1998. <https://tinyurl.com/uhxpvw3h>. Acceso 31 julio de 2021.
- [9] CPA Ferrere. Contribución de la cadena forestal a la economía urugua-ya. Technical report, Sociedad de productores forestales de Uruguay, 2017. <https://tinyurl.com/49yy233j>. Acceso 03 de julio 2021.
- [10] Diccionario de la lengua española, 2021. <https://dle.rae.es>. Acceso 03 de junio 2021.

- [11] Sophie D'amours, Mikael Rönnqvist, and Andres Weintraub. Using operational research for supply chain planning in the forest products industry. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 46(4):265–281, 2008.
- [12] Víctor Viana Céspedes. *Optimización en la planificación de servicios de cosecha forestal*. Tesis de maestría, Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ingeniería., 2018.
- [13] Rodrigo Linfati-Medina, Lorena Pradenas-Rojas, and Jacques Ferland. Planificación agregada en la cosecha forestal: Un modelo de programación matemática y solución. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 18(4):555–566, 2016.
- [14] Pedro Pantaenius. *Planificación del aprovechamiento forestal*, volume 18, pages 107–110. Cátedra de Aprovechamiento Forestal, Fac. Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, 2012.
- [15] Miguel Davel, Luis Tejera, and Martín Honorato. *Poda y raleo a desecho en plantaciones de pinos*, chapter 16, pages 73 – 76. Estación Experimental Agroforestal Esquel (Chubut), 2009.
- [16] Nicolás Cusano, Gisel Ettlin, and Carla Ocaño. Cosecha forestal mecanizada: capacidad operacional y estudio económico de un sistemactl. Technical report, Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Agronomía., 2009.
- [17] Uruguay XXI. Sector forestal. Oportunidades de inversión. Technical report, Revista Uruguay XXI, Informes sectoriales, 2018. <https://tinyurl.com/bpyp7pwn>. Acceso 31 de julio 2021.
- [18] Joshua Miller and Caleb Braun. Datos y cifras globales de productos forestales. [Online], 2018. (FAO Forestal) <http://www.fao.org/3/y7581s/y7581s08.pdf>.
- [19] Alejandra Efrón. Bitrenes en Argentina - decreto 574/14. modelos de Implementación para una Argentina Competitiva. Technical report, Asociación forestal argentina, Mayo 2014. <https://tinyurl.com/vr3pmnc9>. Acceso 20 de mayo de 2021.
- [20] *Manual para el proceso de autorización recurrente de circulación de camiones que exceden la normativa de peso bruto vehicular de 45 toneladas*, Setiembre 2018. https://subtrans.cl/wp-content/uploads/2018/03/Presentacio%CC%81n_borrador_propuesta_manual_VAP.pdf.
- [21] Ramón Barrazas, Ing. Enrique Lascano, Rodrigo Ruiz López, and Carla Sanzone. *Uso del vehículo “bitren” y sus implicancias*, 2016. <http://congresodevialidad.org.ar/congreso2016/TRA/TRA-052.pdf>.

- [22] Ajay Menon. Understanding Lumber Carrier Vessels, 2020. <https://tinyurl.com/xmcf4yfh>. Acceso 16 de junio 2021.
- [23] Shipping terms = barge, 2021. <https://www.cogoport.com/shipping-terms/barge-169>. Acceso 10 de junio 2021.
- [24] El Banco Mundial. *La Reforma de los Ferrocarriles: Manual para Mejorar el Rendimiento del Sector Ferroviario*, 2017. <https://tinyurl.com/4nkhcxd8>. Acceso 20 de febrero 2021.
- [25] Jutta Odenthal-Kahabka. Timber Haulage by Railway. *Forest Research Institute of Baden-Württemberg*, 2020. <https://tinyurl.com/3warsz2t>. Acceso 30 de junio 2021.
- [26] Cumbre de Johannesburgo, 2002. <https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/desarrollo.htm>. Acceso 16 de junio 2021.
- [27] Misael Antonio Olmos and Wilson González Santos. El valor de la sustentabilidad. *Ciencia y Agricultura*, 10(1):91–100, 2013.
- [28] Ibañez. Que es Euro 6 y por qué hará que tu próximo coche diésel sea el menos contaminante de la historia. [Online], 2015. <https://tinyurl.com/ynvcmfkj>. Acceso 30 de abril de 2021.
- [29] Presidencia de la República Oriental del Uruguay. Decreto n° 111/008. Optimización de los niveles de emisión de gases y ruidos por parte de vehículos pesados de transporte. Normativa y avisos legales del Uruguay, 2008. <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/111-2008>. Acceso 20 de julio 2021.
- [30] Joshua Miller and Caleb Braun. Análisis costo-beneficio de las normas euro VI sobre emisiones en vehículos pesados en Argentina. Technical report, International Council on Clean Transportation, 2020.
- [31] *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*. Instituto Nacional de Ecología. <https://books.google.com.uy/books?id=8B9IdJhkvjoC>. Acceso 30 de julio de 2021.
- [32] International Organization for Standardization. *Environmental management systems — Guidelines for a flexible approach to phased implementation (ISO Standard NO. 14005:2019)*, 2016. <https://www.iso.org/standard/72333.html>. Acceso 4 de agosto 2021.
- [33] Carlos Kahler González, Ana Janina Gysling Caselli, V Pardo, Verónica Álvarez González, et al. Mercado forestal junio 2020. Technical report, INFOR, 2020.

- [34] Sociedad de productores forestales del Uruguay, 2021. <http://www.spf.com.uy/forestacion-zonas-forestadas/>. Acceso 1 de Junio 2021.
- [35] SPF - Uruguay forestal, 2021. <http://www.spf.com.uy/uruguay-forestal/>. Acceso 1 julio de 2021.
- [36] Pablo Antunez. Forestación y la Madera. diario El País, Uruguay, 2020. <https://rurales.elpais.com.uy/forestacion/el-sector-forestal-uruguayo-contribuye-al-4-del-pbi>. Acceso 2 de marzo 2020.
- [37] UPM confirmó que construirá la segunda planta de celulosa en Uruguay e invertirá más de USD 3.000 millones, 2019. <https://www.elpais.com.uy/>. Acceso 14 de junio 2021.
- [38] Informe estadística 2017 - Uruguay XXI informes, 2017. <http://www.todoelcampo.com.uy>. Acceso 23 de febrero 2021.
- [39] Dirección nacional de transporte. Corredores autorizados para circular con 25.5 toneladas en ejes triples. Technical report, Ministerio de Obras Públicas, 2021. <https://www.gub.uy/ministerio-transporte-obras-publicas/>. Acceso 19 de junio 2021.
- [40] Informe sector forestal en Uruguay 2021. Uruguay XXI, 2021. <https://tinyurl.com/5hy3euyt>. Acceso 2 de febrero 2021.
- [41] Angel F. Tenorio Villalón and Ana M. Martín Caraballo. Un paseo por la historia de la teoría de Juegos. *Boletín de Matemáticas*, 22(1):77–95, 2015.
- [42] Mikael Frisk, Maud Göthe-Lundgren, Kurt Jörnsten, and Mikael Rönnqvist. Cost allocation in collaborative forest transportation. *European Journal of Operational Research*, 205(2):448–458, 2010.
- [43] Shan Wang and Norm Archer. Business-to-business collaboration through electronic marketplaces: an exploratory study. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 13(2):113–126, 2007.
- [44] Lei Xu and Benita M. Beamon. Supply chain coordination and cooperation mechanisms: an attribute-based approach. *Journal of Supply Chain Management*, 42(1):4–12, 2006.
- [45] Franciscus Cruijssen, Andreas Maria Cornelis, et al. *Horizontal Cooperation in Transport and Logistics*. CentER dissertation series: Center for Economic Research. CentER, Tilburg University, 2006. <https://books.google.com.uy/books?id=vBJEMgAACAAJ>. Acceso 4 de agosto de 2021.

- [46] Susana R. Presta. Formas de cooperación en el marco de una empresa metalúrgica transnacional. *Theomai*, 2006. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12401307>. Acceso 30 de abril 2021.
- [47] Julián Tejada, Lina María Perilla, Sara Victoria Serrato, and Andrés Felipe Reyes. Simulación del dilema del prisionero a partir de modelos conexionistas de aprendizaje por reforzamiento. *Suma Psicológica*, 11(1):29–51, 2004.
- [48] Felix T.S. Chan and Anuj Prakash. Inventory management in a lateral collaborative manufacturing supply chain: a simulation study. *International Journal of Production Research*, 50(16):4670–4685, 2012.
- [49] Dania Sitadewi, Liane Okdinawati, and Desy Anisya Farmaciawaty. Can rivaling truck companies collaborate? An Indonesian case study. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 36(2):43–53, 2020.
- [50] Felipe Mautone Guerra and Pablo Rodríguez Sotto. *La planificación estratégica óptima aplicada a la industria forestal integrada verticalmente*. Tesis de grado, Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Agronomía., 2011.
- [51] Johan Los, Frederik Schulte, Matthijs TJ Spaan, and Rudy Negenborn. Collaborative vehicle routing when agents have mixed information sharing attitudes. *Transportation Research Procedia*, 44:94–101, 2020.
- [52] Mario Guajardo, Patrik Flisberg, Mikael Frisk, and Mikael Rönnqvist. Reallocation of logistics costs in a cooperative network of sawmills. *Computational Methods in Applied Sciences*, 45, 2018.
- [53] Mario Guajardo, Mikael Rönnqvist, Patrik Flisberg, and Mikael Frisk. Collaborative transportation with overlapping coalitions. *European Journal of Operational Research*, 271(1):238–249, 2018.
- [54] Mario Guajardo, Kurt Jörnsten, and Mikael Rönnqvist. Constructive and blocking power in collaborative transportation. *OR spectrum*, 38(1):25–50, 2016.
- [55] Dick Carlsson and Mikael Rönnqvist. Backhauling in forest transportation: models, methods, and practical usage. *Canadian Journal of Forest Research*, 37(12):2612–2623, 2007.
- [56] Joen Dahlberg, Stefan Engevall, Maud Göthe-Lundgren, Kurt Jörnsten, and Mikael Rönnqvist. Incentives for transportation collaboration by cost allocation. *Central European Journal of Operations Research*, 27(4):1009–1032, 2019.
- [57] Mosad Zineldin and Torbjörn Bredenlöv. Strategic alliance: synergies and challenges. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 33(5):449–464, 2003.

- [58] María Magdalena Esteban-Infantes Corral, Nicoletta González Cancelas, and Alberto Camarero Orive. Estrategias empresariales de las navieras ante el nuevo escenario de Alianzas marítimas. *INGE CUC*, 15(2):87–98, 2019.
- [59] Photis Panayides and Robert Wiedmer. Strategic alliances in container liner shipping. *Research in transportation Economics*, 32(1):25–38, 2011.
- [60] William Sjostrom. Competition and cooperation in liner shipping. In *The Handbook of maritime economics and business*, pages 463–486. Informa Law from Routledge, 2013.
- [61] Eddy Van de Voorde and Thierry Vanelslander. Market power and vertical and horizontal integration in the maritime shipping and port industry. *OECD Publishing*, 2009.
- [62] Fernando González Laxe. Transporte marítimo y reformas portuarias. Los modelos europeos y latinoamericanos. *Boletín Económico de ICE, Información Comercial Española*, pages 47–64, 2008.
- [63] Xing Hu, René Caldentey, and Gustavo Vulcano. Revenue sharing in airline alliances. *Management Science*, 59(5):1177–1195, 2013.
- [64] Jong-Hun Park. The effects of airline alliances on markets and economic welfare. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 33(3):181–195, 1997.
- [65] Xavier Fageda, Ricardo Flores-Fillol, and Ming Hsin Lin. Vertical differentiation and airline alliances: The effect of antitrust immunity. *Regional Science and Urban Economics*, 81:103517, 2020.
- [66] Terence Fan, Laurence Vigeant-Langlois, Christine Geissler, Björn Bosler, and Jan Wilmking. Evolution of global airline strategic alliance and consolidation in the twenty-first century. *Journal of Air Transport Management*, 7(6):349–360, 2001.
- [67] Volodymyr Bilotkach. Airline partnerships, antitrust immunity, and joint ventures: What we know and what i think we would like to know. *Review of Industrial Organization*, 54(1):37–60, 2019.
- [68] Demet Cetiner. *Fair revenue sharing mechanisms for strategic passenger airline alliances*, volume 668. Springer Science & Business Media, 2013.
- [69] Richard Klophaus and Oriol Lordan. Codesharing network vulnerability of global airline alliances. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 111:1–10, 2018.

- [70] Mario Guajardo. Environmental benefits of collaboration and allocation of emissions in road freight transportation. In *Sustainable Freight Transport*, pages 79–98. Springer, 2018.
- [71] Mauro Caputo and Valeria Mininno. Internal, vertical and horizontal logistics integration in italian grocery distribution. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 1996.
- [72] Huseyin Ince and Andac Sahinbey Ince. The role of supply chain collaboration on sustainable supply chain management performance. *Journal of Management Marketing and Logistics*, 2(3), 2015.
- [73] F. Cruijssen and Marc Salomon. Empirical study: Order sharing between transportation companies may result in cost reductions between 5 to 15 percent. *Center Discussion Paper No. 2004-80*, 2004.
- [74] Charlotte Hageback and Anders Segerstedt. The need for co-distribution in rural areas—a study of Pajala in Sweden. *International Journal of Production Economics*, 89(2):153–163, 2004.
- [75] Sebastián Lozano, Placido Moreno, Belarmino Adenso-Díaz, and Encarnacion Algaba. Cooperative game theory approach to allocating benefits of horizontal cooperation. *European Journal of Operational Research*, 229(2):444–452, 2013.
- [76] Fabiola Sánchez-Galván, Claudia Garay-Rondero, Consuelo Mora-Castellanos, Damian Gibaja, and Horacio Bautista-Santos. Optimización de costos de transporte bajo el enfoque de teoría de juegos. estudio de caso. *Nova Scientia*, 9:185–210, 05 2017.
- [77] Marta Anna Krajewska, Herbert Kopfer, Gilbert Laporte, Stefan Ropke, and Georges Zaccour. Horizontal cooperation among freight carriers: request allocation and profit sharing. *Journal of the Operational Research Society*, 59(11):1483–1491, 2008.
- [78] Olivier Massol and Stéphane Tchong-Ming. Cooperation among liquefied natural gas suppliers: Is rationalization the sole objective? *Energy Economics*, 32(4):933–947, 2010.
- [79] Okan Örsan Özener and Özlem Ergun. Allocating costs in a collaborative transportation procurement network. *Transportation Science*, 42(2):146–165, 2008.
- [80] Mario Guajardo and Mikael Rönnqvist. A review on cost allocation methods in collaborative transportation. *International transactions in operational research*, 23(3):371–392, 2016.

- [81] Xiaojun Fan, Zhe Yin, and Yan Liu. The value of horizontal cooperation in online retail channels. *Electronic Commerce Research and Applications*, 39, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2019.100897>.
- [82] Qin Yu. The cooperation in agri-food supply chain. In *MSIE 2011*, pages 674–677. IEEE, 2011.
- [83] Encarnación Algaba, Vito Fragnelli, Natividad Llorca, and Joaquin Sánchez-Soriano. Horizontal cooperation in a multimodal public transport system: The profit allocation problem. *European Journal of Operational Research*, 275(2):659–665, 2019.
- [84] J.-B. Chesneau, E. Le Net, and S. Berg. A transport tool to evaluate sustainability impacts of transport processes within the Forest Wood Chain. *The Forest Research Institute of Sweden*, pages 1–8, 2011.
- [85] Pattanun Achakulwisut, Michael Brauer, Perry Hystad, and Susan C. Anenberg. Global, national, and urban burdens of paediatric asthma incidence attributable to ambient NO₂ pollution: estimates from global datasets. *Milken Institute School of Public Health, George Washington University, Washington, DC, USA*, pages 1–13, 2019.
- [86] B. Ness, E. Urbel-Piirsalu, S. Anderberg, and L. Olsson. Categorising tools for sustainability assessment. *Science direct*, pages 498–508, 2007.
- [87] Marcus Lindner, Tommi Suominena, Taru Palosuo, Jordi Garcia-Gonzaloa, Peter Verweij, Sergey Zudina, and Risto Päivinena. Ecological Modelling. *Elsevier*, pages 2197–2295, 2019.
- [88] W.V. Reid and H.A. Mooney. Ecosystems and human wellbeing—Synthesis. *Millenium Ecosystem Assessment Synthesis Report*, page 19, 2005.
- [89] PLANCO Consulting GmbH. Economical and ecological comparison of transport modes: Road, railways, inland waterways. *Bundesanstalt für Gewässerkunde*, pages 1–39, 2007.
- [90] M Sánchez Acosta, N Zakowicz, L Harrand, A Cuffre, E Torran, and Piter JC Calvo. Propiedades físico mecánicas de la madera de Eucalyptus grandis de las procedencias genéticas: Kendall (Australia), huerto semillero de Sudáfrica y semilla local Concordia, plantadas comercialmente en Argentina. In *Congreso Mundial IUFRO*, 2005.
- [91] UPM Forestal Oriental. Informe Público de UPM 2019, 2019. https://www.upm.uy/siteassets/documents/informepublico_upm_forestaloriental_2019.pdf. Acceso 16 de Junio 2021.

- [92] Mario Rodriguez. Gestión de Mantenimiento 2008, 2008. <https://tinyurl.com/ymm84s9n>. Acceso 20 de noviembre de 2020.
- [93] Presidencia de la República Oriental del Uruguay. Reglamentacion de la ley 15.921 (ley de zonas francas). Normativa y avisos legales del Uruguay, 2017. <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/309-2018>. 16 de junio 2021.

Apéndice A

Anexo I: Datos de problema

A.1. Código del problema con cooperación

```
# CASO DE ESTUDIO 1#  
  
set T;  
/*Meses de planificacion*/  
  
set T1;  
  
set I;  
/* Plantas industriales */  
  
set ZA;  
  
set ZB;  
  
set Z;  
/* Zona de Cosecha */  
  
set ZC;  
/*Zonas de cosecha que utilizan barcaza*/  
  
param D {i in T, k in I};  
/* Demanda de las plantas en el mes i del cliente k */  
  
param C {j in Z, k in I};  
/* Costo de transportar de la zona de cosecha j al cliente k */  
  
param Q_A {i in T, j in Z diff ZB};  
/* Cantidad de trozas cosechada en el mes i en zona de cosecha j */
```

```

param Q_B {i in T, j in Z diff ZA};
/* Cantidad de trozas cosechada en el mes i en zona de cosecha j */

param p ;
/* Porcentaje max de la demanda que se va a poder colaborar*/

param d {j in Z, k in I};
/* Cantidad de kilometros por viaje*/

param P ; /* Peso neto promedio de transporte de un camion */

param B ; /* Peso neto promedio de transporte de una barcaza */

var y {i in T, j in Z, k in I} >= 0;
/* Cantidades de trozas entregadas en el periodo i, de la zona de
   cosecha j, a la planta k */

var x {i in T, k in I} >= 0;
/* Variable que representa el intercambio de trozas en el periodo i
   hacia el cliente k*/

var r >= 0; /* Contador de kilometros */

var h >= 0; /* Contador de intercambio */

var b >= 0; /* Contador de barcaza */

s.t. CompA {i in T}: x [i, 'A'] = sum{j in Z diff ZA} y[i,j, 'A'];
/* Sumatoria en los periodos i de las Trozas Compartidas de las zonas
   cosechaB a la planta A */

s.t. CompB {i in T}: x [i, 'B'] = sum{j in Z diff ZB} y[i,j, 'B'];
/* Sumatoria en los periodos i de las Trozas Compartidas de las zonas
   cosechaA a la planta B */

s.t. Colaboracion: sum {i in T} x [i, 'A'] = sum {i in T} x [i, 'B'];
/*Que lo compartido al final del periodo sea lo mismo para ambos*/

s.t. Abastecimiento{i in T, k in I}: sum{j in Z} y[i,j,k] >= D[i,k];
/* La demanda en cada mes tiene que ser al menos igual a la sumatoria
   de lo entregado*/

s.t. Max_Comp: sum {i in T} x [i, 'A'] <= p * sum{i in T} D[i, 'A'];
/* Tope maximo de colaboracion sobre la demanda */

s.t. TA {i in T, j in Z diff ZB} : sum {k in I} y[i,j,k] <= Q_A [i,j];

s.t. TB {i in T, j in Z diff ZA} : sum {k in I} y[i,j,k] <= Q_B [i,j];

```

```
s.t. KM : r = sum {i in T, j in Z, k in I} (d [j,k] * y[i,j,k] / P);
s.t. Change: h = sum {i in T} x[i , 'A'] ;
s.t. Barco : b = sum {i in T, j in ZC} (y[i,j , 'B'] / B);
minimize cost: (sum{i in T} sum{j in Z} sum{k in I} y[i,j,k] * C[j,k]);
/* Costos totales de transporte */
solve;
table tab_result{i in T, j in Z, k in I} OUT "CSV" "Variables5POR.csv"
:
  p ~ Porcentaje , i ~ Periodo , j ~ lugar , k ~ i , y[i,j,k] ~ cantidad;
table tab_result{i in T1} OUT "CSV" "Datos5por.csv" :
  p ~ Porcentaje , cost ~ Costo , r ~ Kilometros , h ~ I , b ~ Barcaza;
end;
```

A.2. Datos y resultados del problema

En los siguientes hipervínculos se dejan a disposición el datos y resultados que se obtuvieron en la resolución del problema.

- [VALIDACIONES.](#)
- [DATOS CASO CON COLABORACIÓN](#)
- [RESULTADOS CASO CON COLABORACIÓN.](#)