



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



TESIS DE GRADO

---

# COOPERACION LOGISTICA APLICADA A LA INDUSTRIA FORESTAL

---

**Estudiantes:**

Mateo Cal  
Alejandro Chavez  
Daniela Duran

**Tutores:**

Ing. Hector Cancela  
Ing. Victor Viana

18 de julio 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 al Ing. Alejandro Olivera y Ing. 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

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introducción</b>   | <b>15</b> |
| 1.1. Motivación . . . . .  | 15        |
| 1.2. Objetivos . . . . .   | 16        |
| 1.3. Organización del documento . . . . .                                    | 16        |
| <b>2. Marco Teórico</b>  | <b>19</b> |
| 2.1. Cadena Forestal . . . . .   | 19        |
| 2.1.1. Fase Primaria . . . . .   | 20        |
| 2.1.2. Fase Secundaria . . . . .   | 25        |
| 2.2. Tipos de transporte . . . . .   | 27        |
| 2.3. Sustentabilidad . . . . .   | 30        |
| <b>3. Contexto forestal en Uruguay</b>                                       | <b>35</b> |
| 3.1. Cifras del sector . . . . .   | 37        |
| 3.2. Transporte en Uruguay . . . . .   | 39        |
| 3.2.1. Transporte terrestre . . . . .  | 40        |
| 3.2.2. Transporte fluvial . . . . .  | 41        |
| 3.2.3. Transporte ferroviario . . . . .                                      | 43        |
| <b>4. Estado del Arte</b>  | <b>45</b> |
| 4.1. Características del relevamiento y estructura del Estado del arte . . . | 45        |
| 4.2. Teoría de Juegos . . . . .  | 47        |
| 4.2.1. Valor de Shapley . . . . .  | 48        |
| 4.2.2. Nucleolus . . . . .   | 48        |
| 4.2.3. EPM . . . . .   | 48        |
| 4.3. Cooperación . . . . .   | 49        |
| 4.3.1. Vertical . . . . .  | 50        |
| 4.3.2. Lateral . . . . .   | 51        |
| 4.4. Cooperación horizontal . . . . .  | 52        |
| 4.4.1. Sector Forestal . . . . .   | 54        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 4.4.2.    | Transporte Marítimo . . . . .                    | 58         |
| 4.4.3.    | Transporte Aéreo . . . . .                       | 60         |
| 4.4.4.    | Transporte terrestre . . . . .                   | 64         |
| 4.4.5.    | Otras Aplicaciones . . . . .                     | 67         |
| 4.5.      | Sustentabilidad . . . . .                        | 68         |
| <b>5.</b> | <b>Descripción del Problema</b>                  | <b>71</b>  |
| 5.1.      | Datos dados al problema . . . . .                | 74         |
| 5.2.      | Suposiciones . . . . .                           | 74         |
| 5.3.      | Formulación Matemática . . . . .                 | 76         |
| 5.3.1.    | Conjuntos y parámetros . . . . .                 | 76         |
| 5.3.2.    | Variables de decisión . . . . .                  | 77         |
| 5.3.3.    | Función objetivo . . . . .                       | 77         |
| 5.3.4.    | Restricciones . . . . .                          | 77         |
| 5.4.      | Relevamiento de datos . . . . .                  | 79         |
| 5.4.1.    | Planes de cosecha . . . . .                      | 80         |
| 5.4.2.    | Calculo de costos . . . . .                      | 82         |
| 5.5.      | Escenarios . . . . .                             | 85         |
| 5.6.      | Validación del Modelo . . . . .                  | 86         |
| 5.6.1.    | Caso 1 . . . . .                                 | 87         |
| 5.6.2.    | Caso 2 . . . . .                                 | 88         |
| 5.6.3.    | Caso 3 . . . . .                                 | 88         |
| 5.6.4.    | Caso 4 . . . . .                                 | 88         |
| 5.6.5.    | Caso 5 . . . . .                                 | 89         |
| 5.6.6.    | Caso 6 . . . . .                                 | 90         |
| 5.6.7.    | Caso 7 . . . . .                                 | 90         |
| 5.6.8.    | Caso 8 . . . . .                                 | 90         |
| 5.6.9.    | Caso 9 . . . . .                                 | 91         |
| <b>6.</b> | <b>Análisis de resultados</b>                    | <b>93</b>  |
| 6.1.      | Caso sin cooperación . . . . .                   | 93         |
| 6.2.      | Caso Base . . . . .                              | 93         |
| 6.2.1.    | Resultados de caso base . . . . .                | 94         |
| 6.3.      | Análisis de Sensibilidad . . . . .               | 98         |
| 6.4.      | Resultados enfoque sustentable . . . . .         | 104        |
| <b>7.</b> | <b>Habilidades blandas y análisis financiero</b> | <b>107</b> |
| 7.1.      | Puesta en marcha . . . . .                       | 107        |
| 7.2.      | Riesgos laborales . . . . .                      | 109        |
| 7.3.      | Proyecto de inversión . . . . .                  | 110        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>8. Conclusiones y oportunidades de mejora</b>        | <b>115</b> |
| 8.1. Conclusiones . . . . .                             | 115        |
| 8.2. Oportunidad de mejora y trabajos futuros . . . . . | 116        |