



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
VOCACIÓN POR LA EXCELENCIA

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño
Carrera de Ingeniería Civil Industrial
Sede tres Pascualas

SIMULACION DEL PATIO DE MADERAS DE CELULOSA ARAUCO Y CONSTITUCION PLANTA ARAUCO, LINEA 2

Proyecto de título para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial.

Profesor guía

Maichel Aguayo Bustos.

Estudiante

Claudio Bastías Fernández.



© Claudio Nicolás Bastías Fernández.

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra en cualquier forma,
medio o procedimiento sin permiso por escrito del o los autores

Concepción, Chile.
2024



HOJA DE CALIFICACIÓN

En _____, el ____ de _____ de _____ los _____ abajo
firmantes dejan constancia que el (la) estudiante _____ de la carrera o programa de
_____ ha aprobado la tesis para optar al título o grado
académico de _____ con una nota de _____.

Profesor Evaluador

Profesor Evaluador

Profesor Evaluador



DEDICATORIA

Este proyecto de título va dedicado a mis padres Claudia y José Luis, por su amor incondicional, sacrificios y apoyo constante a lo largo de mi vida. Gracias por ser pilares fundamentales en este camino.

A mi pareja, Claudia, por estar a mi lado en cada momento, brindándome su ayuda, compañía y aliento durante este proceso. Tu apoyo ha sido fundamental en este proyecto.

A mis abuelos, tíos y primos, quienes me han enseñado el valor del esfuerzo y la perseverancia, y que siempre han creído en mis capacidades. Gracias por abrirme sus puertas y recibirme con los brazos abiertos cuando más lo necesité.

Y, por último, a mis amigos, por los buenos momentos, sus consejos y su compañía, siendo una fuente de energía en los momentos de cansancio.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por acompañarme y darme la fuerza para cumplir esta meta tan importante en mi vida.

Al profesor Maichel Aguayo Bustos por su confianza y disposición para guiarme en la elaboración de este proyecto, así como por su apoyo constante durante el proceso de finalización.

A los profesores de la facultad, quienes me otorgaron los conocimientos necesarios para desempeñarme como profesional, con especial mención a la profesora Claudia Fuentes Neira y al profesor Rudy Carrasco Vidal, por su ayuda y orientación durante esta etapa.

A Celulosa Arauco y Constitución S.A., por darme la oportunidad de realizar mi proyecto de título, en especial al equipo de Línea 2 de la Planta Arauco 2024. Agradezco especialmente a Jacob Muñoz Mella, quien me guio y ayudó durante todo el desarrollo de este trabajo.

Al personal de Romana, por acompañarme en la toma de tiempos, explicarme los procesos y llevarme a conocer el patio de maderas, así como por su constante disposición y ayuda siempre que lo necesite.

Finalmente, a Mauricio Jaña Zúñiga, por motivarme e incentivarme a asumir este desafío, brindándome su confianza para llevar a cabo este proyecto en la Planta Arauco.



RESUMEN

En Chile, Celulosa Arauco y Constitución S.A. se destaca por la producción de pulpa de papel y, recientemente, de pulpa textil. Esta memoria de título analiza el funcionamiento del patio de maderas de la Línea 2 de la Planta Arauco, ubicada en Horcones, Región del Biobío, un área clave para la recepción, almacenamiento y procesamiento de madera destinada a la producción de celulosa. La investigación se enfoca en los tiempos de estadía de los camiones, los cuales aumentarán por reestructuraciones operativas a principios de 2024, afectando la eficiencia logística y generando la necesidad de establecer un estándar de tiempo. El proyecto se desarrolló en tres etapas:

- 1.- Levantamiento de información para comprender los procesos logísticos.
- 2.- Ajuste de distribuciones basado en los datos recopilados.
- 3.- Simulación para evaluar el impacto de distintas estrategias de mejora.

Los resultados muestran mejoras en los tiempos de estadía, en el Experimento 1, la eliminación de barreras de contención redujo el tiempo de estadía en 4 minutos (12,5%), y en el Experimento 2, la implementación de límites de permanencia reducida el tiempo de ciclo en un 20,9%. En el Experimento 3, la reorganización del flujo de las estaciones redujo el tiempo de estadía en un 7,9%, aunque el tiempo de procesamiento en la zona de bajada de estacas no mejoró significativamente.

Estos resultados sugieren que las modificaciones propuestas pueden optimizar la eficiencia operativa del patio de maderas, contribuyendo a la mejora de las operaciones y aumentando la productividad de la planta.

Palabras Clave: Patio de madera, Celulosa, Simulación, Simio.



ABSTRACT

In Chile, Celulosa Arauco y Constitución S.A. is recognized for its production of paper pulp and, more recently, textile pulp. This thesis analyzes the operation of the wood yard of Line 2 at the Arauco Plant, located in Horcones, Biobío Region, a key area for receiving, storing, and processing wood intended for pulp production. The research focuses on the truck dwell times, which are expected to increase due to operational restructurings in early 2024, affecting logistical efficiency and creating the need to establish a time standard. The project was developed in three stages:

- 1.- Data collection to understand the logistical processes.
- 2.- Adjustment of distributions based on the collected data.
- 3.- Simulation to evaluate the impact of different improvement strategies.

The results show improvements in dwell times: in Experiment 1, the removal of containment barriers reduced the dwell time by 4 minutes (12.5%), and in Experiment 2, the implementation of stay limits reduced the cycle time by 20.9%. In Experiment 3, the reorganization of station flow reduced the dwell time by 7.9%, although the processing time in the stake unloading area did not improve significantly.

These results suggest that the proposed modifications can optimize the operational efficiency of the wood yard, contributing to improved operations and increasing plant productivity.

Keywords: Wooden Storage, Cellulose, Simulation, Simio.



TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	11
1.1 Antecedentes de la empresa	11
1.1.1 Misión.....	12
1.1.2 Visión.....	12
1.1.3 Valores	12
1.2 Antecedentes del lugar de estudio.....	13
1.2.1 Proceso de los Rollizos.....	15
1.3 Descripción del problema	17
1.4 Revisión bibliográfica.....	20
1.5 Objetivos	22
1.6 Alcances y Delimitaciones	23
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	24
2.1 Metodología de trabajo.....	24
2.2 Estudio de Población.....	24
2.3 Simulación.....	26
2.4 Número de réplicas	27
2.5 Herramientas Computacionales	28
CAPÍTULO III: METODOLOGIA.....	29
3.1 Etapa 1: Recopilación de información	29
3.2 Etapa 2: Construcción de la simulación.....	30
3.3 Etapa 3: Análisis y Propuestas	31
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	32
4.1 Resultados Principales.....	32
4.2 Análisis de resultados.....	39
4.3 Propuesta de mejora	46
4.4 Discusión de los resultados	49
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	51
BIBLIOGRAFÍA.....	53
ANEXOS.....	55



ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Cantidad de los procesos de Rollizo.....	17
Tabla 2: Tabla para el cálculo de numero de muestras.....	26
Tabla 3: Tabla de observaciones.....	32
Tabla 4: Parámetros de los diferentes procesos.....	33
Tabla 5: Parámetros de los diferentes procesos.....	33
Tabla 6: Parámetros de los diferentes procesos.....	33
Tabla 7: Parámetros de los diferentes procesos.....	33
Tabla 8: Ajuste de distribuciones.....	34
Tabla 9: Entidades utilizadas.....	36
Tabla 10: Cantidad de ingreso por hora de cada camión.	36
Tabla 11: Porcentaje de longitud de rollizo.	37
Tabla 12: Porcentaje de tipo de camión.	37
Tabla 13: Desplazamiento de las grúas.....	37
Tabla 14: Resultado con menor porcentaje de efectividad.	40
Tabla 15: Resultado con mayor porcentaje de efectividad.	40
Tabla 16: Parámetros de los diferentes procesos en Simio.....	40
Tabla 17: Tiempo promedio proceso de bajada de estacas.....	41
Tabla 18: Estadísticas del tiempo.....	46
Tabla 19: Estadísticas del tiempo de 108 réplicas.....	47
Tabla 20: Estadísticas del tiempo de ciclo con límite máximo de tiempo.....	47
Tabla 21: Estadísticas del tiempo.....	48
Tabla 22: Estadísticas del tiempo de 221 réplicas.....	49
Tabla 23: Resumen de resultados de los tiempos de ciclo de los experimentos.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Patio de Madera Celulosa Arauco y Constitución, Planta Horcones, Línea 2.	14
Figura 2: Patio de Madera Celulosa Arauco y Constitución, Planta Horcones, Línea 2.	14
Figura 3: Proceso de los camiones de Astilla.....	15
Figura 4: Actual Patio de Madera Celulosa Arauco y Constitución, Planta Horcones, Línea 2.	19
Figura 5: Antiguo Patio de Madera Celulosa Arauco y Constitución, Planta Horcones, Línea 2.....	19
Figura 6: Simulación del Patio de maderas de Celulosa Arauco y Constitución S.A, Planta Arauco, Línea 2.	35



Figura 7: Estadísticas de tiempo de ciclo de 10 réplicas.	38
Figura 8: Tiempo promedio por Proceso en ciclo de Camiones.	41
Figura 9: Sector de Bajada de estacas.	43
Figura 10: Modelo actual, en Serie.	43
Figura 11: Experimento 1, en Paralelo.	44
Figura 12: Experimento 3, incorporación de Servidores.	45

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1: Paso a Paso	55
Anexo 2: Flujo Grama	56
Anexo 3: Gráfico y Prueba de Bondad para Desamarre: Metro ruma 2.44 [m].....	57
Anexo 4: Gráfico y Prueba de Bondad para Descarga en Línea trozado: Metro ruma 2.44 [m]	57
Anexo 5: Gráfico y Prueba de Bondad para Descarga Cancha de acopio: Metro ruma 2.44 [m]	58
Anexo 6: Gráfico y Prueba de Bondad para Desamarre: Largo fijo 4.10 [m]	58
Anexo 7: Gráfico y Prueba de Bondad para Descarga en Línea trozado: Largo fijo 4.10 [m]	59
Anexo 8: Gráfico y Prueba de Bondad para Descarga Cancha de acopio: Largo fijo 4.10 [m]	59
Anexo 9: Gráfico y Prueba de Bondad para Desamarre: Largo Variable 6.00 [m].....	60
Anexo 10: Gráfico y Prueba de Bondad para Descarga en Línea trozado: Largo Variable 6.00 [m].....	60
Anexo 11: Gráfico y Prueba de Bondad para Descarga Cancha de acopio: Largo Variable 6.00 [m].....	61
Anexo 12: Tasa de Llegada para los Rollizos	61
Anexo 13: Entidades en Simio, camiones según el largo del rollizo y tipo de camión.	62



CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes de la empresa

Celulosa Arauco Y Constitución S.A., fue fundada en septiembre de 1979 como parte del Grupo Angelini, uno de los conglomerados más grandes de Chile, con presencia en sectores clave como energía, forestal, pesca y minería, dentro de estas empresas destacan Celulosa Arauco y Copec, con un enfoque en la innovación y sostenibilidad. Arauco es una de las principales empresas forestales y productoras de celulosa a nivel mundial, con más de 50 años desarrollando productos que forman parte de la cadena de valor en industrias como la de papel, vestuario, construcción, embalaje, mobiliario y energía renovable. Cuenta con más de 1.7 millones de hectáreas de plantaciones en Chile, Argentina, Brasil, Estados Unidos y Europa, operando en cinco continentes y atendiendo a más de 4.894 clientes en todo el mundo. Celulosa Arauco ha expandido significativamente su infraestructura para producir celulosa blanqueada de fibra corta y larga. Las fibras de celulosa se encuentran en la madera unidas por lignina, un compuesto químico que le da rigidez, y el proceso de producción de celulosa involucra la separación de las fibras y el blanqueo para remover la lignina residual. Además, produce una gama de productos de madera, como tableros y madera aserrada, suministrando industrias como la construcción, mobiliario y producción de papel (Celulosa Arauco y Constitución S.A., 2022).

La empresa también se distingue por la innovación de producir energía basada en biomasa, generando energía limpia para sus operaciones. Celulosa Arauco cuenta con cinco plantas de celulosa, cuatro plantas de paneles, siete aserraderos, incluidas cuatro instalaciones de producción de remanufactura, y diez plantas de energía. La planta ubicada en Horcones, en la Región del Biobío, Chile, es una de las instalaciones más importantes, operando bajo altos estándares de eficiencia energética y sostenibilidad (Celulosa Arauco y Constitución S.A., 2022). Arauco mantiene un sólido compromiso con la sustentabilidad forestal, promoviendo la



reforestación continua y la conservación de áreas ecológicas de alto valor. Además, destaca por la utilización de tecnologías limpias que minimizan el impacto ambiental y por su colaboración con las comunidades locales a través de programas de apoyo social y educativo (Celulosa Arauco y Constitución S.A., 2022).

1.1.1 Misión

El Directorio de Celulosa Arauco y Constitución S.A. tiene como misión aumentar el valor de la empresa, de manera social, ambiental y económicamente responsable (Celulosa Arauco y Constitución S.A., 2021).

1.1.2 Visión

Contribuir a mejorar la vida de las personas desarrollando productos forestales que afrontan los desafíos de un mundo sostenible (Celulosa Arauco y Constitución S.A., 2022).

1.1.3 Valores

Celulosa Arauco y Constitución S.A. guía su accionar en base a los siguientes valores (Celulosa Arauco y Constitución S.A., 2019):

- Seguridad “seguridad siempre, lo primero”: La seguridad de las personas es la prioridad en todas las decisiones. Teniendo como meta tener cero accidentes.
- Compromiso “trabajamos con pasión”: En Arauco son gente esforzada y honesta que cumple con su palabra.
- Excelencia e innovación “queremos mejorar continuamente”: Son líderes en lo que emprenden, porque desafían sus capacidades. Siendo exigentes con sus metas, eficientes e innovadores en la forma de conseguirlas.
- Trabajo en equipo “juntos somos más”: Respetan y valoran a cada uno de sus trabajadores; sabiendo que al trabajar en equipo el avance es más rápido y eficiente.



1.2 Antecedentes del lugar de estudio

El lugar de estudio corresponde a Celulosa Arauco y Constitución S.A., Planta Arauco, ubicada en la comuna de Arauco, Región del Biobío, Chile. Esta es una de las instalaciones más importantes de la empresa. La planta inició sus operaciones en la década de 1980 con la construcción de su primera línea, y en 2006 se incorporó la segunda línea como parte de su expansión. Actualmente, se cuenta con una tercera línea conocida como el proyecto MAPA, implicando la finalización de las operaciones de la Línea 1, dejando operativas únicamente las Líneas 2 y 3. En la planta se incluyen instalaciones para la producción de celulosa Kraft de pino y eucalipto, un aserradero, y una planta de cogeneración de energía. La función principal de la planta es la producción de celulosa, la cual se exporta a nivel mundial para la fabricación de papel y productos derivados. Además, el aserradero suministra productos de madera para diversos mercados, y la planta de cogeneración produce energía renovable, parte de la cual es utilizada en sus propias operaciones.

En el presente proyecto, se centra el análisis específicamente en el patio de maderas de Línea 2, también conocido como el área de preparación de madera. Este sector es responsable de procesar madera de pino en la actualidad, contribuyendo en la recepción, almacenamiento y manejo de rollizos. En este contexto, en la Figura 1 se examina una vista panorámica del sector, mientras que la Figura 2 se observa una vista aérea del lugar de estudio.



*Figura 1: Patio de Madera Celulosa Arauco y Constitución, Planta Horcones, Línea 2.
Fuente: Celulosa Arauco y Constitución, Planta Horcones.*



*Figura 2: Patio de Madera Celulosa Arauco y Constitución, Planta Horcones, Línea 2.
Fuente: Google Earth.*

Para realizar la recepción y descarga de madera, el camión que transporta este producto deberá seguir un proceso establecido por la planta, tal como se examina la Figura 3.

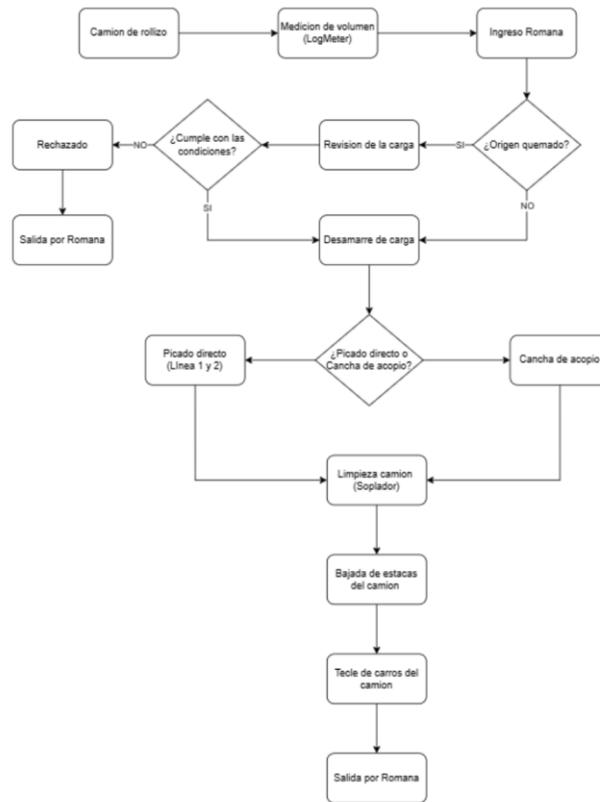


Figura 3: Proceso de los camiones de Astilla.
 Fuente: Elaboración Propia

Luego de analizar y comprender la Figura 3, se puede concluir que la ruta que sigue el camión dependerá del sector al cual debe dirigirse para descargar los rollizos. A continuación, se detallan los procesos con cada uno de los puntos involucrados:

1.2.1 Proceso de los Rollizos

- Ingreso a Planta: El camión debe ingresar a la planta por la pista derecha, manteniendo una velocidad máxima de 20 kilómetros por hora. Luego, debe posicionarse frente al Logmeter, ingresando únicamente cuando el semáforo esté en verde. Posteriormente, el camión accederá por la Romana, a través de la entrada Norte Nueva o Norte Centro, según lo indique el tablero ubicado en el ingreso de Romana. El camión debe posicionarse frente a la Romana y entrar cuando la barrera esté levantada. Luego, el conductor deberá ingresar el Ticket QR o el código Forestruck en el tótem. En caso de problemas, se debe contactar



con el Operador Romana para registrar el camión manualmente y asignarle una ubicación (cancha o líneas).

- Desamarre: Una vez que el camión pasa por la Romana de entrada, debe dirigirse al área de desamarre o retiro de eslingas. Aquí, el conductor está autorizado a bajarse del camión, siempre con su equipo de seguridad, para quitar las amarras que sujetan los rollizos de madera.
- Líneas de Astillado: Después de abandonar el punto de desamarre, el camión debe dirigirse a las líneas de astillado, donde será descargado por una grúa. El objetivo es descortezar los rollizos y transformarlos en astillas, las cuales son transportadas a las pilas de astillas mediante cintas transportadoras. El patio de maderas puede procesar hasta dos camiones simultáneamente y tener hasta seis camiones en espera.
- Canchas: Si las líneas de astillado están en capacidad máxima de espera o presentan alguna falla, el camión se trasladará a las canchas, donde se acopia la madera según su especie, largo y antigüedad.
- Sopleteo: En este punto, el conductor del camión debe presionar un botón para activar el uso de aire comprimido, con el cual se eliminan residuos de madera adheridos al camión.
- Bajado de Estacas: Luego del sopleteo, los camiones se dirigen a este punto, donde deben bajar sus estacas y limpiar cualquier residuo de corteza de madera, ya que, las estacas aseguran y estabilizan la carga de rollizos durante el transporte.
- Tecele: El tecele es el lugar donde los camiones montan el carro, pero solo aquellos camiones que son de tipo carro pasan por este punto.

En la Tabla 1 se observan los procesos existentes en Celulosa Arauco y Constitución S.A. Planta Horcones, junto con su respectiva capacidad.

Proceso	Cantidad
Logmeter	1
Romana Entrada	2
Desamarre	2
Línea Astillado	2
Canchas	7
Sopleteo	2
Bajada de Estaca	1
Tecele	2
Romana de Salida	2

Tabla 1: Cantidad de los procesos de Rollizo.

Fuente: Elaboración Propia.

Es importante destacar que, en la actualidad, el patio de maderas de la Línea 2 se dedica exclusivamente al astillado de madera de pino. Para la gestión y registro de la información relacionada con este proceso, se utiliza un software denominado “Rmadera”. Este sistema registra de manera detallada los tiempos del ciclo completo de cada camión, incluyendo el largo de madera transportada, el pesaje, el destino del camión y toda la información relevante vinculada a su ingreso y salida del patio de madera.

1.3 Descripción del problema

El patio de maderas de la Planta Arauco, una zona clave para la descarga, procesamiento y manejo de los rollizos de pino, enfrenta un problema relacionado con la gestión logística y operativa de esta materia prima fundamental. En particular, la Línea 2 ha identificado como principal desafío la optimización del tiempo de ciclo de los camiones dentro de la planta.

Históricamente, el tiempo de estadía establecido era de 37 minutos, cubriendo operaciones de desamarre y descarga de rollizos. Sin embargo, recientes reestructuraciones internas han incrementado significativamente estos tiempos. Uno de los cambios más relevantes fue la reubicación de las estaciones de limpieza de equipos (zona de sopleteo y bajada de estacas) y la estación de tecele (montaje de carro). [Estas estaciones, que originalmente se encontraban en la salida de Romana, sector por donde ingresan y se retiran los camiones de la planta, fueron](#)



trasladadas al interior del patio de maderas debido a problemas legales y ambientales. Dado que, algunos camiones que se retiraban de planta no se detenían en las estaciones de limpieza o de tecele. Esto generaba problemas como residuos de madera esparcidos en las carreteras y camiones transitando sin el carro montado, lo cual incumplía las normativas vigentes en Chile, como la Resolución N°1 de 1995 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, que exige configuraciones seguras para los vehículos de carga, contribuyendo a la seguridad vial (Del Congreso Nacional, 1995).

El traslado de estas estaciones dentro del patio de maderas tuvo como objetivo garantizar el cumplimiento de dicha normativa, evitar problemas legales y fomentar un manejo más responsable de los camiones en tránsito. Por otra parte, antes de estas reubicaciones, el patio de maderas contaba con una grúa portal capaz de descargar los camiones en la mitad del tiempo que las grúas actuales. Sin embargo, esta grúa fue retirada debido a la ineficiencia por condiciones climáticas de la región, caracterizada por alta niebla durante el invierno y madrugadas de verano, que dificultaba su operación, por la poca visibilidad del operador en la cabina.

Estas modificaciones han tenido un impacto directo en la planificación logística de la planta, generando cancelaciones de giros y reasignaciones de rutas no contempladas para los transportistas. Como consecuencia, los costos operativos han aumentado, incluyendo gastos relacionados con combustible, neumáticos y personal. Lo anteriormente mencionado, ha afectado negativamente la productividad, incumpliendo el objetivo que originalmente se había planificado en 3,4 vueltas diarias por camión, sobre la cual se estructuran los contratos de transporte.

A continuación, se presenta el estado actual del patio de maderas (Figura 4) y su configuración previa (Figura 5), junto con un diagrama preliminar en revisión de la planta.



Figura 4: Actual Patio de Madera Celulosa Arauco y Constitución, Planta Horcones, Línea 2.
 Fuente: Celulosa Arauco y Constitución, Planta Horcones.



Figura 5: Antiguo Patio de Madera Celulosa Arauco y Constitución, Planta Horcones, Línea 2.
 Fuente: Celulosa Arauco y Constitución, Planta Horcones.



1.4 Revisión bibliográfica

La simulación es una herramienta fundamental en la optimización de sistemas, ya que permite modelar y analizar procesos sin intervención directa en el mundo real, minimizando riesgos. En contextos logísticos, la simulación de procesos es crucial para reducir tiempos de ciclo, optimizar el flujo de recursos y evaluar escenarios alternativos para identificar cuellos de botella. En particular, en un patio de preparación de madera, la simulación puede ser esencial para mejorar la eficiencia operativa, abordando dinámicas complejas de manera segura (Evans, 2016).

En el ámbito logístico, el estudio *“A discrete-event simulation model for the análisis of waiting line system in port services”*, desarrolló un modelo de simulación de eventos discretos para analizar diversas etapas del procesamiento y transporte de madera. Este modelo incluye variables como los tiempos de ciclo de la maquinaria, las distancias recorridas en el transporte y las tasas de producción en cada etapa del proceso. Los resultados permitieron identificar cuellos de botella relacionados con tiempos excesivos de transporte y maquinaria subutilizada, lo que llevó a ajustes en la asignación de recursos y a un incremento del 15% en la eficiencia operativa. La investigación concluyó que la simulación es una herramienta fundamental para optimizar procesos y facilitar la toma de decisiones basadas en análisis de tiempos (Pulido-Rojano et al., 2022).

Por otro lado, el estudio *“Using discrete-event simulation to compare congestión management initiatives at a port terminal”* propuso un marco que combina la optimización y simulación de eventos discretos para analizar el desempeño de la entrega de madera bajo condiciones climáticas inciertas. Este modelo permitió evaluar cómo condiciones adversas impactaban en el transporte y entrega de madera, revelando que disminuciones inesperadas en la accesibilidad de carreteras, causadas por el clima, reducían el desempeño logístico. En cambio, las disminuciones previstas permitieron implementar estrategias efectivas. Este trabajo refleja la utilidad de planificar operaciones más resilientes mediante herramientas de simulación y optimización (Neagoe et al., 2021).



En el sector de servicios, la simulación se destacó en el trabajo realizado por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, que optimizó el flujo de pasajeros en el Aeropuerto Internacional Abraham González. Este proyecto permitió modelar los procesos aeroportuarios, validar mejoras mediante experimentos y proporcionar capacidades predictivas sin requerir inversiones adicionales, evidenciando la efectividad de la simulación en sistemas complejos de servicios (Sánchez y Alexandra, 2021).

En el ámbito industrial, Keller (2022), de la Universidad San Sebastián, desarrolló un modelo de simulación para optimizar el patio de maderas de la Planta Arauco. Este estudio identificó ineficiencias en las rutas de los camiones y propuso mejoras que lograron reducir significativamente los tiempos de permanencia en el patio de madera (Keller, 2022).

Por su parte, Candia (2023), también de la Universidad San Sebastián, aplicó simulación en la Planta Nueva Aldea de Celulosa Arauco y Constitución S.A. utilizando la simulación, se logró identificar cuellos de botella y propuso estrategias para reducir los tiempos de permanencia de los camiones en aproximadamente un 18%. Este trabajo es relevante, ya que sus metodologías pueden trasladarse al patio de maderas de la Planta Arauco para optimizar los tiempos de permanencia (Candia, 2023).

Finalmente, en el ámbito forestal, El estudio *“Integrated Artificial Neural Network and Discrete Event Simulation Framework for Regional Development of Refractory Gold Systems”* desarrolló una simulación basada en datos históricos y técnicas de análisis predictivo para evaluar operaciones forestales. El modelo incorporó variables como densidad forestal, tasas de crecimiento de árboles, condiciones climáticas y costos operativos. Los resultados demuestran que una planificación adecuada puede aumentar la productividad en un 18% y reducir los costos operativos en un 10%, además de prevenir impactos ecológicos a largo plazo, como la pérdida de biodiversidad. Este estudio resalta la importancia de combinar de



simulación y análisis de datos para equilibrar objetivos económicos y ecológicos de manera efectiva (Wilson et al., 2022).

En el artículo *“Modelling a biomass supply chain through discrete-event simulation”*, los autores analizaron operaciones forestales utilizando un modelo de simulación de eventos discretos que incluyó variables como tiempos de ciclo de maquinaria, tasas de extracción, costos operativos y emisiones de carbono. Los resultados mostraron que, mediante la optimización de rutas de transporte y el uso eficiente de maquinaria, se logró aumentar la eficiencia en un 12% y reducir las emisiones de carbono en un 8%. Este estudio subraya la relevancia de integrar indicadores de sostenibilidad en la planificación de operaciones forestales, consolidando a la simulación como una herramienta robusta para la toma de decisiones estratégicas (Pinho et al., 2021).

1.5 Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un estudio de simulación de procesos para disminuir el tiempo de permanencia de los camiones al interior del patio de maderas de la Planta Arauco.

Objetivos específicos

- I. Diseñar un flujograma y Paso a Paso, que facilite la visualización del movimiento de los camiones y permita una comprensión clara del proceso.
- II. Analizar los tiempos de permanencia de los camiones y verificar el cumplimiento de los procesos establecidos.
- III. Desarrollar un modelo de simulación en software Simio que represente en detalle la realidad de los procesos de la planta en estudio.
- IV. Implementar y validar el modelo de simulación para identificar posibles cuellos de botella.
- V. Proponer y evaluar las mejoras propuestas mediante el modelo de simulación que permita evaluar los beneficios.



1.6 Alcances y Delimitaciones

Alcances

- I. Desarrollar un modelo de simulación del patio de maderas de la planta Arauco, Línea 2, considerando los procesos de esta, para garantizar un estudio realista y preciso.
- II. Realizar la simulación en el software Simio, utilizando la licencia proporcionada por la Universidad para llevar a cabo el estudio.
- III. Utilizar Python como herramienta para ajustar las distribuciones de probabilidad de los datos recopilados y aplicarlas en Simio.

Delimitaciones

- I. Geográfica: La investigación se centra exclusivamente en la Planta Arauco, ubicada en Arauco, Chile. Esto incluye las áreas específicas del patio de maderas dentro de la planta.
- II. Acceso a Información: El acceso a datos específicos de la empresa, como ubicaciones de áreas, y tiempos de operación, están sujetos a la confidencialidad y limitaciones de información proporcionada por la empresa.
- III. Tiempo de Implementación: El proyecto está limitado por el período disponible para su ejecución, que es de 3 meses. Esta restricción puede influir en la profundidad del análisis y la implementación de soluciones.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describen las herramientas que se emplearán en el desarrollo del proyecto, con la finalidad de recopilar antecedentes que contribuyan al análisis y cumplimiento de los objetivos planteados.

2.1 Metodología de trabajo

La metodología se entiende como un conjunto de métodos, técnicas y procedimientos utilizados para llevar a cabo una investigación o estudio. Este concepto incluye el enfoque general para la recolección, análisis e interpretación de datos, así como la resolución de problemas o la respuesta a preguntas de investigación. De manera más amplia, abarca los principios y procedimientos que orientan la práctica dentro de una disciplina científica o profesional (Hernández Sampieri et al., 2014).

La metodología Scrum, una de las más utilizadas, organiza el trabajo en ciclos iterativos denominados "Sprint". Este marco se basa en tres roles principales: el Scrum Master, quien facilita el proceso; el Product Owner, quien representa los intereses del cliente y prioriza las tareas; y el Agile Team, encargado de ejecutar las actividades necesarias para completar las entregas. La metodología Scrum es fundamental para eventos clave, como las reuniones, revisiones de Sprint y retroalimentaciones, utilizando herramientas como el backlog para definir las tareas a realizar (Scrum, s.f.).

2.2 Estudio de Población

Con el fin de obtener una simulación que refleje la realidad del patio de maderas de Línea 2, se registraron los tiempos en cada punto del proceso. A partir de estos datos, se procede a calcular el tamaño de la muestra utilizando un método nomográfico. [Este método es un enfoque práctico basado en tablas que permiten determinar de forma aproximada el tamaño de las muestras.](#) En este caso, se utiliza una tabla que relaciona el rango de las observaciones (R) y el promedio de estas



(\bar{x}). Este enfoque es utilizado cuando se requieren soluciones rápidas y eficientes, sin la necesidad de realizar cálculos estadísticos complejos (Salazar, 2016).

Para el cálculo de las muestras mediante el método nomográfico, se siguen los siguientes pasos:

- I. Si la duración de las observaciones es menor a 2 minutos, se deben tomar 10 muestras; si excede este tiempo, se deben tomar 5 muestras.
- II. Calcular el rango (R) de intervalos de tiempo, restando el mayor valor registrado con el menor.

$$R_{(Rango)} = X_{max} - X_{min}$$

- III. Calcular el promedio de las muestras tomadas.
- IV. Hallar el cociente entre el rango y el promedio de las medias

$$\frac{R}{\bar{x}}$$

- V. Buscar el valor obtenido en el paso anterior en la Tabla 2, seleccionar dependiendo la cantidad de muestra.

TABLA PARA CALCULO DEL NUMERO DE OBSERVACIONES					
R/X	5	10	R/X	5	10
0	0	0	0.48	68	39
0.01	1	1	0.50	74	42
0.02	1	1	0.52	80	46
0.03	1	1	0.54	86	49
0.04	1	1	0.56	93	53
0.05	1	1	0.58	100	57
0.06	1	1	0.60	107	61
0.07	1	1	0.62	114	65
0.08	1	1	0.64	121	69
0.09	1	1	0.66	129	74
0.10	3	2	0.68	137	78
0.12	4	2	0.70	145	83
0.14	6	3	0.72	153	88
0.16	8	4	0.74	162	93
0.18	10	6	0.76	171	98
0.20	12	7	0.78	180	103
0.22	14	8	0.80	190	108
0.24	13	10	0.82	199	113
0.26	20	11	0.84	209	119
0.28	23	13	0.86	218	126
0.30	27	15	0.88	229	131
0.32	30	17	0.90	239	138
0.34	34	20	0.92	250	143
0.36	38	22	0.94	261	149
0.38	43	24	0.96	273	156
0.40	47	27	0.98	284	162
0.42	52	30	1.00	296	169
0.44	57	33	1.02	303	173
0.46	63	36	1.04	313	179

Tabla 2: Tabla para el cálculo de numero de muestras.

Fuente: Bryan Salazar. Santo Tomas.

Con este cálculo es posible determinar la cantidad de datos preliminares necesarios y corroborar que el número de muestras observadas sea el óptimo para garantizar la representatividad de los resultados.

2.3 Simulación

La simulación, según Robert E. Shannon (1975), es el proceso de diseño y desarrollo de modelos computarizado de un sistema o proceso, con el fin de entender el comportamiento del sistema o evaluar diversas estrategias. Esta herramienta se ha vuelto crucial en la actualidad, ya que permite simular procesos del mundo real, ayudando a predecir cambios o alterar variables para observar el comportamiento sin generar costos o riesgos adicionales. Además, destaca que la simulación es una herramienta que utiliza modelos matemáticos para representar el mundo real y modelar comportamientos bajo diferentes condiciones. Afirma que



este proceso involucra tanto el “arte” como la “ciencia”, debido a la creatividad y destreza necesarias para modelar un sistema de manera adecuada. De esta forma, la simulación permite realizar experimentos en un entorno controlado y estudiar los efectos en diferentes parámetros sin interrumpir o dañar el sistema real, lo que resulta esencial para la evaluación de escenarios y la toma de decisiones informadas.

Por otro lado, Joines y Roberts (2015) destacan que la simulación es una técnica esencial para modelar y analizar sistemas complejos sin necesidad de interrumpir el entorno real. En este contexto, el proyecto desarrollará simulación de proceso para la construcción del patio de maderas, lo que permitirá visualizar y evaluar posibles mejoras antes de implementarlas. La simulación facilita la identificación de cuellos de botella, la optimización en el uso de recursos y la reducción de tiempos muertos, minimizando así los riesgos y costos asociados a los cambios en los procesos.

Los autores afirman que *"La simulación actúa como una herramienta de mejora del desempeño. Es un laboratorio experimental que permite realizar experimentos en modelos computacionales para analizar alternativas antes de implementar cambios en el sistema real"* (p.2). Este planteamiento recalca el valor práctico de la simulación para probar modificaciones en sistemas reales sin asumir los riesgos asociados a la implementación directa (Joines y Roberts, 2015, p.2).

De este modo, se destaca que la simulación permite explorar diferentes alternativas de mejora en un entorno controlado y seguro, optimizando tanto el desempeño como los costos operativos, y garantizando una toma de decisiones más informada y efectiva.

2.4 Número de réplicas

Para la validación de la simulación será necesario realizar réplicas. La cual la denotamos por R. Para determinar el número de réplicas, se utilizará la fórmula planteada en Banks et al.2010.

$$R \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2} * S_0}{\epsilon} \right)^2$$

Donde,

S_0 : Representa la desviación estándar de la R_0 replicas iniciales realizadas.

$\frac{Z_{\alpha}}{2}$: Valor de la tabla normal, equivalente a 1,96 para un 95% de intervalo de confianza. Para calcular S_0 (Banks,2010), utilizaremos:

$$S_0 = hw * \frac{\sqrt{R_0}}{Z_{\alpha/2}}$$

hw : Ancho del intervalo de confianza obtenido desde la simulación. Este resultado es encontrado en el tipo objeto llamado Sink, y se debe observar el valor dado en Half Widdth del total de numero Exited de la categoría Throughput del InputBuffer.

2.5 Herramientas Computacionales

En este proyecto, se emplearán las siguientes herramientas tecnológicas:

- I. Python: Lenguaje de programación y ampliamente utilizado en proyectos de análisis de datos y simulación. Python facilitará la manipulación de datos, el desarrollo de algoritmos y la visualización de resultados, lo que lo convierte en una herramienta fundamental para el procesamiento, análisis e identificación de patrones en los datos de este proyecto.
- II. Microsoft Excel: Esta herramienta será utilizada para la recopilación y análisis inicial de los datos registrados. Permitiendo validar los tiempos y el flujo de camiones en el patio de maderas.
- III. Power BI: Plataforma de visualización de datos que permitiendo crear Dashboards interactivos. En este proyecto, se utilizará para generar reportes, de los datos históricos (últimos tres meses) y visualizaciones de los datos obtenidos (actuales), facilitando así el análisis y la toma de decisiones basadas en la información procesada.



CAPÍTULO III: METODOLOGIA

Para asegurar que el desarrollo de este proyecto se lleve a cabo de forma ordenada y eficiente, se implementará la metodología Scrum para gestionar las tareas de manera iterativa. En este enfoque, se asignarán los siguientes roles:

- Scrum Master: Será desempeñado por el docente a cargo.
- Product Owner: Será un representante de Celulosa Arauco y Constitución S.A., responsable de priorizar las tareas y asegurar que se cumplan los intereses del cliente.
- Equipo Agile: Estará compuesto por el estudiante encargado del desarrollo del proyecto, quien será responsable de ejecutar las actividades necesarias para completar cada entrega.

Cada ciclo de trabajo, denominado Sprint, tendrá una duración de dos semanas. Durante este período, se trabajará sobre un backlog (previamente definido), que incluirá las tareas específicas para cumplir con las distintas etapas del proyecto. Al finalizar cada Sprint, se evaluarán los avances y se proporcionarán retroalimentación, asegurando que el proyecto esté alineado con sus objetivos.

El proyecto se estructurará en tres etapas principales para su ejecución.

3.1 Etapa 1: Recopilación de información

Esta primera etapa, consiste en comprender los procesos y la logística de la recepción y descarga de la madera, con el fin de iniciar la recopilación de datos.

Levantamiento de información

En esta parte de la etapa, para generar la simulación del área de preparación madera, es necesario entender la logística de los camiones dentro del patio de maderas. Se realizarán visitas al terreno para para visualizar los distintos puntos del proceso y comprender las secuencias detalladas que sigue el camión. Para ello, se emplearán dos herramientas lean, paso a paso y flujograma, [tal como se examinan en los Anexo 1 y 2](#). Estas herramientas permitirán definir con claridad cada acción



del proceso de descarga de los camiones y visualizar de mejor forma el flujo de actividades de este proceso.

Recopilación de datos y realización de muestreo

Con los conocimientos básicos de área de preparación madera y una comprensión clara de la logística, se llevará a cabo un muestreo de datos. En conjunto a la Superintendente de abastecimiento y jefe de patio de Línea 2, se calculan que existen datos anteriores (datos previamente tomados), y que se deben tomar 40 muestras de cada tipo de camión: madera corta (5 bancos), madera variable (3 bancos) y madera larga (2 bancos) en los distintos puntos por los que transitan los camiones.

Validación de datos

Posteriormente a la obtención de las 40 muestras, la empresa proporciono datos de tomas de tiempos previamente registrados. Por lo tanto, se procede a validar los datos manejados, asegurando un nivel de confianza del 95% en el estudio. En caso de que la validación es inferior a 95% se realizará un segundo muestreo para corroborar la confiabilidad de los datos recopilados.

3.2 Etapa 2: Construcción de la simulación

En esta segunda etapa, se ajustarán las distribuciones a los datos obtenidos en la etapa 1, para la construcción de la simulación realista.

Ajuste de distribuciones

Una vez finalizada la recopilación y validación de datos, se transferirán los datos de la muestra al lenguaje de programación Python. Se realizarán los ajustes de distribución a los tiempos de procesamiento de cada punto por donde interactúa el camión.

Construcción del modelo en Simulación

En este punto, se iniciará la construcción del modelo de simulación de la Planta Arauco Línea 2, utilizando como guía del flujograma y los análisis paso a paso realizados previamente. Se considerarán las rutas de los camiones y se aplicarán



los ajustes de distribución definidos anteriormente. Esto permitirá identificar los posibles cuellos de botella y proponer soluciones.

Validación del modelo

Una vez completada la simulación, se validará comparando los datos reales de recepción de maderas (datos obtenidos en el Rmadera). Se filtrarán los tiempos de estadía inferiores a 15 minutos y superiores a 120 minutos, y se compararán los resultados reales con los simulados. Donde será necesario realizar replicas para tener una certeza del modelo ajustado a la realidad del patio de madera.

3.3 Etapa 3: Análisis y Propuestas

En la última etapa, se analizarán los resultados del modelo SIMIO para identificar posibles mejoras y optimizar el tiempo de recepción de los rollizos.

Análisis de resultados

Posteriormente a la validación del modelo, se estudiarán los resultados para identificar encolamientos, cuellos de botella, porcentajes de utilización y números de entidades procesadas. Esto permitirá definir mejoras necesarias.

Proponer mejoras

En conjunto a la Superintendente de Abastecimiento y jefe de Patio de Linea 2, se definirán las posibles mejoras para el proceso que sigue el camión. Los escenarios propuestos se simularán en SIMIO median experimentos.

Resultados de los escenarios

En esta etapa, se compararán los resultados del modelo original con los escenarios propuestos para determinar la opción más optima. Se evaluará el escenario con menor tiempo de estadía dentro de planta.



CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Resultados Principales

Método estadístico

Tras la obtención de los datos del muestreo, se procedió a aplicar el método nomográfico, para buscar mediciones que fueran lo suficientemente representativas sin requerir a un número excesivo de observaciones, como muestra la tabla 3.

Proceso (Zona)	Metodo Nomografico
Descarga en Linea	156
Descarga en Cancha	103
Desamarre	98
Bajada de estacas	131
Tecele	42

Tabla 3: Tabla de observaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla indica la cantidad de datos necesarios para realizar el ajuste de distribuciones. Como se mencionó anteriormente, Celulosa Arauco proporcionó 70 tomas de tiempos en cada uno de los procesos y de los diferentes tipos de rollizos (2.44 metros, 4.10 metros y 6.00 metros). Por esta razón, se considerará esa cantidad de observaciones para cada rollizo en las zonas de descarga en línea, descarga en cancha y desamarre. Dado que previamente se tenían 40 muestras recopiladas, se sumarán las 70 muestras entregadas y validadas previamente a las observaciones necesarias. En caso de faltar datos, se recopilaron los datos adicionales necesarios.

Además, dado que la planta cuenta con dos zonas de desamarre, dos líneas de trozado pino y seis canchas distintas, todas bajo las mismas condiciones, no se verá afectado el resultado por el punto en el que se tomen los datos faltantes.

Recolección de datos

Una vez concluido a toma de todos los datos del método anterior, se puede obtener la siguiente estadística, presentada en las siguientes tablas (4, 5, 6 y 7). Estas



distintas tablas permitirán validar los tiempos de la simulación en Simio, proporcionando un promedio, un mínimo y un máximo de los tiempos. Cabe destacar que en los procesos de Tecla y Bajada de estacas todos los camiones pasan después de haber realizado la descarga en Línea trozado o Cancha de acopio.

Metro ruma 2.44 [m]				
Proceso	Datos tomados	Tiempo promedio	Tiempo minimo	Tiempo maximo
Descarga Línea	156	0:10:28	0:09:23	0:11:05
Descarga Cancha	103	0:09:53	0:08:54	0:11:01
Desamarre	98	0:07:22	0:06:10	0:08:06

Tabla 4: Parámetros de los diferentes procesos.

Fuente: Elaboración propia.

Largo fijo 4.10 [m]				
Proceso	Datos tomados	Tiempo promedio	Tiempo minimo	Tiempo maximo
Descarga Línea	156	0:06:36	0:05:33	0:07:57
Descarga Cancha	103	0:06:20	0:05:30	0:06:56
Desamarre	98	0:05:06	0:04:30	0:06:20

Tabla 5: Parámetros de los diferentes procesos.

Fuente: Elaboración propia.

Largo Variable 6.00 [m]				
Proceso	Datos tomados	Tiempo promedio	Tiempo minimo	Tiempo maximo
Descarga Línea	156	0:05:45	0:05:00	0:06:55
Descarga Cancha	103	0:05:44	0:05:00	0:06:45
Desamarre	98	0:04:25	0:03:55	0:04:57

Tabla 6: Parámetros de los diferentes procesos.

Fuente: Elaboración propia.

Independiente tipo de camion				
Proceso	Datos tomados	Tiempo promedio	Tiempo minimo	Tiempo maximo
Tecla (Monta carro)	42	0:03:49	0:02:57	0:04:51
Bajada de estacas	131	0:08:26	0:05:58	0:13:17

Tabla 7: Parámetros de los diferentes procesos.

Fuente: Elaboración propia.

Ajuste de distribución

El ajuste de distribuciones se realizó utilizando el software Python, específicamente a través de sus bibliotecas SciPy y NumPy, las cuales permiten realizar análisis estadísticos eficientes. En este proceso, se estimaron distribuciones estadísticas basadas en los datos recolectados durante las observaciones previas. El objetivo fue identificar las distribuciones que mejor se ajustaran a los tiempos de los



procesos (zonas) estudiados, garantizando una representación precisa de los mismos. Las distribuciones de probabilidad obtenidas son las que se muestran a continuación, en la tabla 8.

Proceso	Distribuciones		
	Metro ruma 2.44 [m]	Largo fijo 4.10 [m]	Largo Variable 6.00 [m]
Desamarre	Random.Normal(7.3598, 0.3215)	Random.Normal(5.09925, 0.2744)	Random.Normal(4.4247, 0.2287)
Descarga en Línea	Random.Normal(10.5552, 0.31875)	Random.Uniform(5.55, 7.95)	Random.Uniform(5.0, 6.916)
Descarga en cancha	Random.Normal(9.8755, 0.37885)	Random.Normal(6.358, 0.2621)	Random.Normal(5.7271, 0.3337)
Bajada de estacas	Random.Normal(8.4007, 1.297)	Random.Normal(8.4007, 1.297)	Random.Normal(8.4007, 1.297)
Tecla (Monta carro)	1+Random.Lognormal(0.891, 0.709)	1+Random.Lognormal(0.891, 0.709)	1+Random.Lognormal(0.891, 0.709)

Tabla 8: Ajuste de distribuciones.

Fuente: Elaboración propia.

Estas distribuciones serán fundamentales para modelar la realidad en Simio, contribuyendo a un realismo representativo y asegurando una adecuada aproximación a las variabilidades en los procesos estudiados, dependiendo de los tipos de rollizos. Los gráficos y las pruebas de bondad de ajuste que respaldan estas distribuciones se [detallan en los Anexos 3 al 11](#), correspondientes a los distintos procesos estudiados.

Construcción del modelo de simulación en Simio

Para iniciar la construcción del modelo de simulación de Celulosa Arauco y Constitución S.A., correspondiente a la Planta Arauco, Línea 2, se diseñó un modelo general que representa el flujo de entidades y recursos en el patio de maderas. En la Figura 6 se examina una vista global del modelo, que será explicada en detalle:

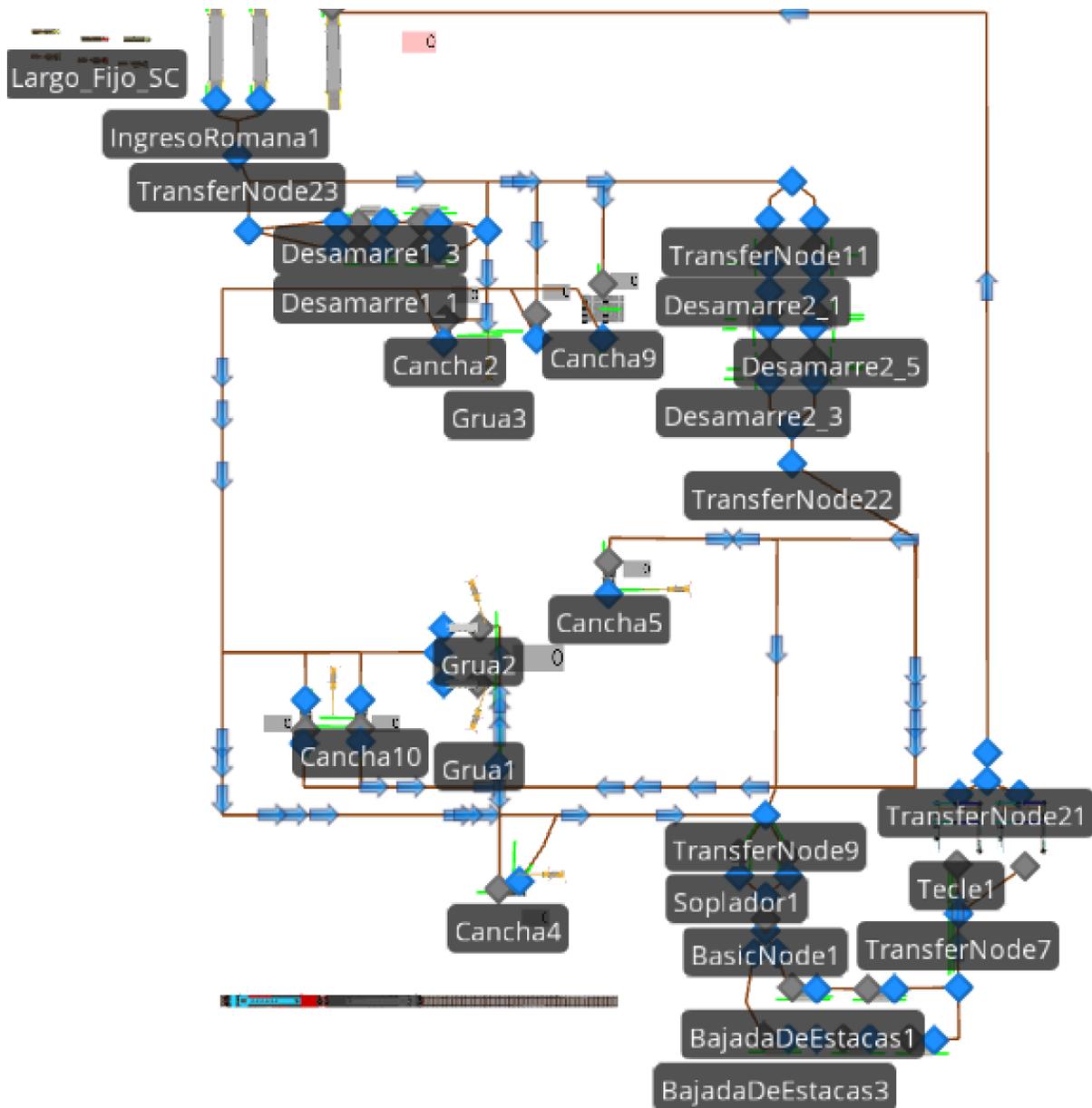


Figura 6: Simulación del Patio de maderas de Celulosa Arauco y Constitución S.A, Planta Arauco, Línea 2.
 Fuente: Elaboración propia.

- Entidades y su ingreso al sistema

Las entidades son representadas por los camiones, los cuales se clasifican según la longitud de los rollizos (2.44 metros, 4.10 metros y 6.00 metros) y el tipo de camión (camión carro y camión rampla), tal como se indica en la tabla 9 y en el Anexo 13. Esta definición se realiza mediante el recurso conocido como “Model Entity”.

Entidades
Metro Ruma
Metro Ruma Sin Carro
Largo fijo
Largo fijo Sin Carro
Largo Variable
Largo Variable Sin Carro

Tabla 9: Entidades utilizadas.

Fuente: Elaboración propia.

El recurso “Source” permite el ingreso de estas entidades, estableciendo la tasa de llegadas de los camiones (parámetro que indica el número de camiones que ingresan a planta). La información sobre las tasas de llegada se obtuvo mediante el programa Rmadera, seleccionándose el día 18 de octubre como referencia. Este día fue elegido por ser el que registró el mayor ingreso de camiones en los últimos meses. Los datos de dicho día fueron trasladados a Simio, tal como se muestra en la tabla 10 y Anexo 12. Con esta información recopilada en Rmadera, se determinaron los porcentajes correspondientes a cada longitud de rollizo y tipo de camión, presentados en las tablas 11 y 12.

Legada por hora	Cantidad de ingreso
0	11
1	11
2	7
3	11
4	14
5	10
6	14
7	3
8	10
9	14
10	22
11	23
12	10
13	15
14	10
15	13
16	21
17	12
18	16
19	3
20	19
21	15
22	17
23	10

Tabla 10: Cantidad de ingreso por hora de cada camión.

Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de longitud de rollizo	
Metro ruma 2.44 [m]	11%
Largo fijo 4.10 [m]	46%
Largo Variable 6.00 [m]	43%

Tabla 11: Porcentaje de longitud de rollizo.

Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de tipo de camion	
Camion Carro	60%
Camion Rampla	40%

Tabla 12: Porcentaje de tipo de camión.

Fuente: Elaboración propia.

- Procesamiento en el sistema

Para la representación de los procesos dentro de la simulación se emplearon elementos tipo "Server," que modelaron las etapas descritas anteriormente, (Romana, Desamarre, Canchas de Acopio, Líneas de Astillado, Bajada de Estacas y Tecele). En cada uno de ellos se incorporaron las distribuciones ajustadas previamente mencionadas, según se detalló en la página 34, tabla 8. Dentro de la simulación se agregaron "Resources", un elemento necesario para realizar tareas dentro del modelo de simulación. Estos "Resources" están representados por 6 grúas, cuyo funcionamiento consiste en descargar los rollizos de los camiones. En otras palabras, si la grúa no está presente en los "Servers" de la cancha de acopio o en las Líneas de trozado, la entidad del camión no puede ser procesada. La forma en la cual se desplazan las grúas se puede examinar en la tabla 13.

Desplazamiento de gruas	
Grua 1	Cancha 2 y 3
Grua 2	Cancha 5
Grua 3	Cancha 10 y 11
Grua 4	Cancha 4
Grua 5	Linea trozado 1
Grua 6	Linea trozado 2

Tabla 13: Desplazamiento de las grúas.

Fuente: Elaboración propia.

- Salida de las entidades del sistema

El recurso "Sink" representa la salida de las entidades del patio de maderas, y está simbolizado por Romana, que es el punto de salida de los camiones.

- Conexiones entre los recursos

Para conectar los diferentes puntos de la simulación (desde el Source al Server y del Server al Sink), se utilizaron diversos "Paths". Estas conexiones fueron configuradas considerando las distancias medidas mediante Google Earth. Asimismo, se ajustaron las velocidades máximas permitidas para los camiones dentro de la planta, estableciendo un límite de 20 kilómetros por hora, según lo estipulado en el reglamento de seguridad de la empresa.

Cálculo de número de réplicas

Para el cálculo del número de réplicas, el cual hace referencia a la cantidad de veces que se debe ejecutar una simulación completa para un mismo escenario, se sigue la fórmula mencionada en el marco teórico. El procedimiento para obtener el número adecuado de réplicas es el siguiente:

- Se realizan 10 réplicas iniciales, cuyos resultados se muestran en la Figura 7.
- A partir de esto, se procede a calcular el número de réplicas necesarias utilizando los siguientes valores:

R_0 : 10 (Número de réplicas iniciales)

hw : 11.0239 (Ancho del intervalo de confianza obtenido desde la simulación)

$Z_{\frac{\alpha}{2}}$: 1.96 (Valor estadístico obtenido desde la tabla de probabilidades normal)

ϵ : 2.988 (1% del promedio del valor esperado 298.8000)

Object Type	Object Na...	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Sink	Romana_Salida	InputBuffer	HoldingTime	TimeInStation	Average (Minutes)	1,4979	1,4706	1,5196	0,0112
					Maximum (Minutes)	1,9950	1,9872	1,9993	0,0027
					Minimum (Minutes)	1,0035	1,0005	1,0116	0,0026
			Throughput	NumberEntered	Total	298,8000	274,0000	322,0000	11,0239
				NumberExited	Total	298,8000	274,0000	322,0000	11,0239

Figura 7: Estadísticas de tiempo de ciclo de 10 réplicas.
Fuente: Resultados de la simulación Simio.



El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$S_0 = 11.0239 * \frac{\sqrt{10}}{1.96} = 17.79$$

Finalmente,

$$R \geq \left(\frac{1.96 * 17.79}{2.988} \right)^2 = 136,18$$

Por lo tanto, será necesario realizar 136 réplicas en la simulación para obtener resultados estadísticamente significativos.

4.2 Análisis de resultados

Validación de la simulación en Simio

Una vez que el patio de madera de la Planta de Arauco, Línea 2, este completamente configurado en Simio con las lógicas que siguen los camiones y sin producir errores en la Simulación, se podrá avanzar a la etapa de validación del modelo en Simio frente a la realidad de la Planta bajo las condiciones actuales. En esta etapa, se comparará el modelo con datos reales utilizando programas descargados de Rmadera, con el fin de evaluar el tiempo de ciclo de los camiones (tiempo que el camión permanece al interior de Planta). Si la simulación alcanza una efectividad igual o superior al 95% en relación con los eventos observados, se procederá con la validación del modelo. Es importante mencionar que para este análisis se filtraron los datos que superaban los 120 minutos o eran inferiores a 15 minutos dentro de la planta, ya que estos tiempos son considerados anormales y probablemente fueron registrados incorrectamente debido a fallas en los tags que capturan las patentes al ingresar y salir de Romana (sector de ingreso y salida de los camiones).

Para llevar a cabo el proceso de validación, se seleccionan días de manera aleatoria bajo la condición de que no se hubieran filtrado más del 5% de los datos debido a tiempos anormales, correspondientes a los meses de septiembre y octubre. Estos días fueron evaluados dentro de la simulación, considerando parámetros como la



tasa de llegada y número de llegadas por hora de los camiones. Los resultados obtenidos demostraron una efectividad que varía entre un mínimo de 97,3% y un máximo de 99.6% en los días analizados, tal como se examinan en las tablas 14 y 15.

2 de octubre de 2024			Efectividad	97,3%
LARGOS	REAL		SIMULADO	
2.44 [m] (MR)	27	0:46:04	27	0:45:46
3.50 - 4.60 [m] (LF)	135	0:39:20	132	0:38:42
6.0 [m] (LV)	117	0:33:18	114	0:37:28
Total	279	0:39:34	275	0:40:39

Tabla 14: Resultado con menor porcentaje de efectividad.

Fuente: Elaboración propia.

18 de octubre de 2024			Efectividad	99,6%
LARGOS	REAL		SIMULADO	
2.44 [m] (MR)	41	0:46:01	39	0:46:24
3.50 - 4.60 [m] (LF)	134	0:41:27	135	0:40:59
6.0 [m] (LV)	137	0:40:12	132	0:39:50
Total	312	0:42:33	306	0:42:24

Tabla 15: Resultado con mayor porcentaje de efectividad.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, una vez analizada la efectividad del modelo en relación con la realidad, se debe verificar que los tiempos recopilados en los puntos del proceso corresponden a los tiempos establecidos en Simio, como se muestra en la tabla 16, donde se evidencia que estos tiempos se encuentran dentro del rango de la realidad. Estos datos fueron discutidos en reuniones con el equipo de Línea 2 para confirmar el avance y precisión de la simulación.

Proceso	Tiempo promedio	Tiempo mínimo	Tiempo máximo
Desamarre	0:05:10	0:00:42	0:06:14
Descarga Línea	0:06:50	0:06:26	0:07:13
Descarga Cancha	0:06:45	0:05:47	0:07:35
Bajada de estacas	0:08:45	0:08:19	0:09:01
Tecle (Monta carro)	0:02:28	0:01:46	0:03:24

Tabla 16: Parámetros de los diferentes procesos en Simio.

Fuente: Simio.



Análisis de resultado

Para evaluar los resultados de la simulación creada, en comparación con las condiciones reales, se realizó un análisis en conjunto al subgerente de planta, superintendente de abastecimiento y jefe de patio de Línea 2. En el cual se identificó que el cuello de botella, entendido como la etapa que genera retrasos y reducción de flujo operativo dentro del Patio de madera, se encuentra en el proceso de Bajada de estacas. Este hallazgo surgió tras analizar los tiempos asociados a cada etapa de ciclo de los camiones, destacando que el tiempo de proceso supera incluso al tiempo de descarga de rollizos, ya sea en línea o en cancha. Este resultado, inusual y sorprendente, llamó la atención del equipo de Línea 2, como se examina en el Figura 8.

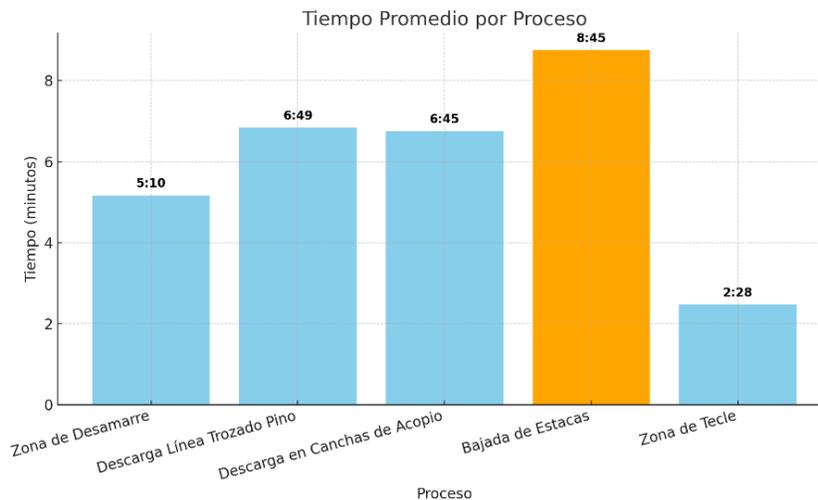


Figura 8: Tiempo promedio por Proceso en ciclo de Camiones.
Fuente: Elaboración propia.

Al observar que tanto los resultados de la simulación, como los datos recopilados reflejan tiempos elevados en la zona de bajada de estacas, detallado en la Tabla 17, donde se diferencia el tiempo real con el tiempo de la simulación.

Proceso	Dato real	Dato simulacion
Bajada de estacas	0:08:26	0:08:45

Tabla 17: Tiempo promedio proceso de bajada de estacas.

Fuente: Elaboración propia.



A partir de los resultados obtenidos, se tomó la decisión de inspeccionar esta área, identificando los siguientes factores:

Conductas del chofer:

- Los choferes de los camiones utilizan este punto para limpiar sus camiones con escobas, a pesar de que ya han pasado previamente por la zona de sopleteo, la cual debería asegurar la limpieza.
- Se observa que algunos choferes aprovechan de conversar con otros conductores o utilizar sus teléfonos.
- Algunos choferes permanecen en esta zona esperando nuevos llamados de carga desde los predios de rollizos (Bosques) o, en algunos casos, para evitar aceptar un nuevo pedido antes de dirigirse a sus hogares.

Falta de control:

- La zona de bajada de estaca no está bajo control directo de Serfocol o Arauco, lo que permite que los choferes gestionen su tiempo de manera discrecional y sin supervisión. Esta falta de control contribuye a que las conductas mencionadas incrementen los tiempos de estadía de los camiones en esta área.

Se planteo las siguientes soluciones para los puntos aludidos anteriormente:

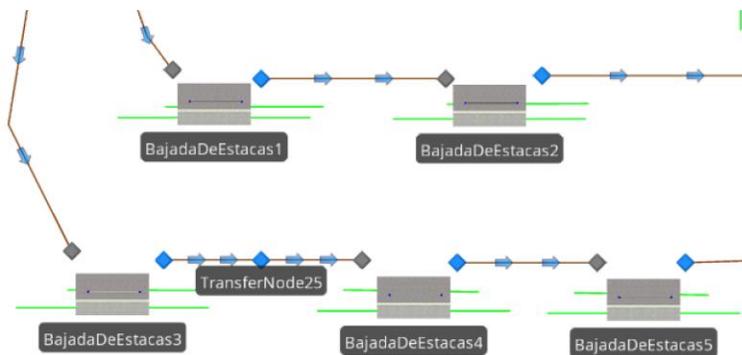
Experimento 1

En la zona de bajada de estacas, existen dos sitios distribuidos en serie donde los choferes realizan esta actividad. El primero puede acomodar hasta dos camiones y el segundo, hasta tres, como se examina en la Figura 9. Durante las observaciones realizadas en el sector, se evidenció que los choferes se organizan de manera autónoma en esta configuración. Sin embargo, el problema surge cuando el primer camión tarda más de lo esperado en completar el proceso, generando un bloqueo que impide el avance de los camiones que están listos detrás de él. Esto se debe a las barreras de contención existentes en el sector, que interfiere que los camiones puedan pasar por el costado.



*Figura 9: Sector de Bajada de estacas.
 Fuente: Elaboración propia*

Para abordar esta situación, se propone realizar una simulación en la que se eliminen las barreras de contención, reorganizando el modelo para que las estaciones operen en paralelo en lugar de en serie, tal como se muestra en las Figura 10 y 11. El objetivo de esta modificación es evaluar si dicha reorganización permite que los camiones con tiempos de proceso más cortos, como los camiones rampla, puedan avanzar sin depender del estado del camión que se encuentra adelante, mejorando así la fluidez del proceso.



*Figura 10: Modelo actual, en Serie.
 Fuente: Elaboración propia*

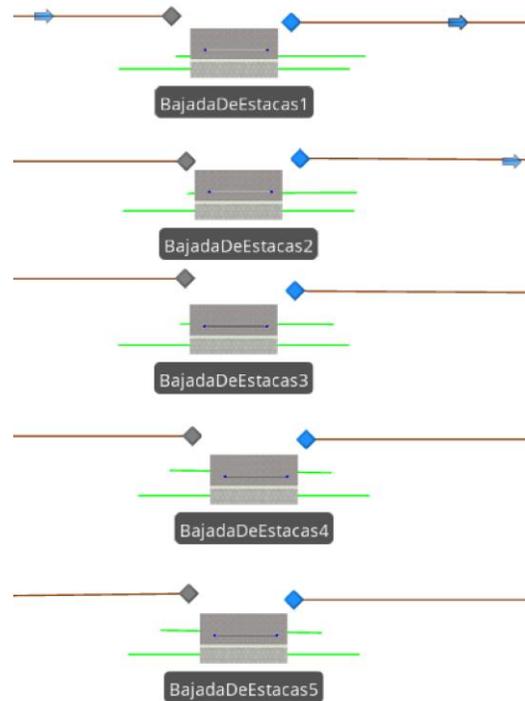


Figura 11: Experimento 1, en Paralelo.
Fuente: Elaboración propia

Experimento 2

La falta de control en la zona de Bajada de estacas ha sido identificada como una de las principales causas de los tiempos de permanencia excesivos. Para abordar esta problemática, se plantea simular la implementación de un control estricto sobre los tiempos de operación, estableciendo límites máximos de estadía en esta área.

En la simulación, se configuraron distribuciones uniformes para ajustar las ya predeterminadas en los servidores de bajada de estacas. Asimismo, se incorporaron métricas clave, como los tiempos totales de estadía y los tiempos específicos según el tipo de camión, con el fin de analizar detalladamente los resultados. Esto permitirá representar tiempos acotados de forma precisa y evaluar cómo la implementación de controles puede afectar en la reducción de los tiempos de estadía de los camiones.

Experimento 3

A pesar de que la zona de bajada de estacas cuenta con un espacio amplio, como se observó en la Figura 9, de la página 43, la falta de delimitaciones claras sobre dónde deben detenerse los camiones, junto con el estado sucio del área, limita su capacidad operativa. Para abordar este problema, se propone reorganizar el modelo actual de simulación (Figura 10, en la página 43), incorporando una sexta estación de bajada de estacas al modelo en serie, aprovechando el espacio disponible. Además, se plantea la apertura de un tercer sitio de trabajo, también distribuido en serie, donde el conductor pueda bajar las estacas de su camión, como se examina en la Figura 12.

El objetivo del experimento es evaluar si una mejor distribución del espacio permite la incorporación de una nueva estación y sitio de trabajo para el proceso de bajada de estacas, incrementando así la capacidad operativa del sector.

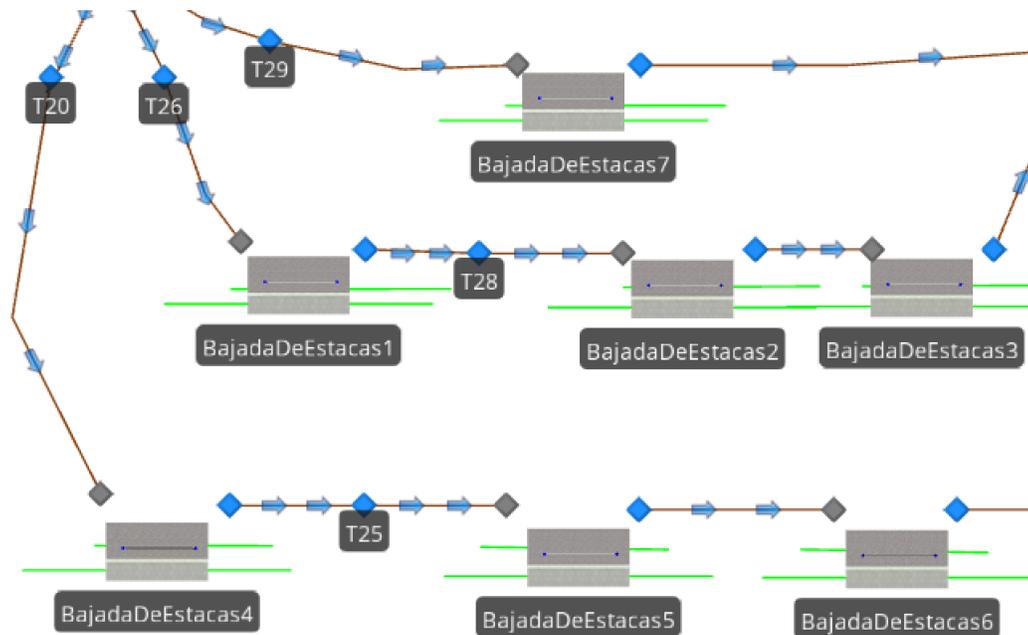


Figura 12: Experimento 3, incorporación de Servidores.
Fuente: Elaboración propia



4.3 Propuesta de mejora

Experimento 1

Al simular la eliminación de las barreras de contención que impiden el paso de los camiones listos, se observó una reducción en el tiempo de estadía de los camiones dentro del patio de madera de aproximadamente 4 minutos, lo que equivale a una disminución del 12,5%. Además, al realizar 10 réplicas de la simulación, el tiempo promedio de estadía disminuyó en un 12,1%, manteniéndose una disminución de 4 minutos en comparación con la simulación actual, como se detalla en la tabla 18.

Asimismo, se analizó el tiempo de procesamiento en la zona de bajada de estacas, obteniéndose un promedio de 0:08:42 minutos para la simulación con las mejoras, en contraste con los 0:09:52 minutos registrados en el sistema actual. Este cambio refleja una mejora en la eficiencia del sector. Al realizar las 10 réplicas, el tiempo promedio de procesamiento se mantuvo constante en 0:08:42 minutos.

Estadística de tiempo			
Tiempo de Ciclo de la Simulación (minutos)	Tiempo de Ciclo de 10 replicas (minutos)	Tiempo de procesamiento sector Bajada de estacas de la Simulación (minutos)	Tiempo de procesamiento sector Bajada de estacas de 10 replicas (minutos)
34,54	34,68	8,7	8,71

Tabla 18: Estadísticas del tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

Para garantizar la validez estadística de los resultados, se calculó el número necesario de réplicas en la simulación utilizando la fórmula correspondiente. El resultado fue 108 réplicas para obtener resultados estadísticamente significativos. Al ejecutar estas 108 réplicas, se confirma una disminución del 11,3% en el tiempo promedio de estadía de los camiones dentro del patio de madera, lo que equivale a una reducción de 3 minutos en comparación con los resultados obtenidos en las 136 réplicas de la simulación actual. Además, el tiempo promedio de procesamiento en la zona de bajada de estacas se redujo a 0:08:43 minutos, resultado que se detalla en la tabla 19.

Estadística de tiempo	
Tiempo de Ciclo de 108 replicas (minutos)	Tiempo de procesamiento sector Bajada de estacas de 108 replicas (minutos)
35	8,72

Tabla 19: Estadísticas del tiempo de 108 réplicas.

Fuente: Elaboración propia

Experimento 2

En este experimento, se evaluó el impacto de establecer límites máximos de permanencia para los camiones en la estación de bajada de estacas, utilizando una distribución uniforme y simulando la implementación de un control en el área. A través de escenarios configurados en la simulación. Se analizaron distintos tiempos máximos para medir su efecto en el tiempo de ciclo total de los camiones.

Los resultados obtenidos mostraron que, al establecer un tiempo máximo de permanencia de 8 minutos, el tiempo de estadía de los camiones se redujo en 2 minutos, lo que representa una mejora del 8,5%. Si el límite se fijó en 7 minutos, la reducción fue de 4 minutos, equivalente a una mejora del 13,4%. Al establecer un tiempo máximo de 6 minutos, el tiempo de ciclo se reduce en 6 minutos, logrando una mejora del 17,7%. Finalmente, al limitar la permanencia a 5 minutos, se observará una reducción de 7 minutos en el tiempo de ciclo, lo que equivale a una mejora del 20,9% en comparación con el tiempo de ciclo actual, como se detalla en la tabla 20.

Estadística de tiempo	
Limite de tiempo (minutos)	Tiempo de Ciclo (minutos)
8 minutos	36,1
7 minutos	34,17
6 minutos	32,47
5 minutos	31,21

Tabla 20: Estadísticas del tiempo de ciclo con límite máximo de tiempo.

Fuente: Elaboración propia



Es importante mencionar que en este experimento, no se evaluó la disminución en el tiempo de procesamiento en este punto, ya que el establecimiento de un tiempo límite hace irrelevante medir dicho impacto en esta etapa específica.

Experimento 3

En este experimento, se implementaron mejoras como la delimitación de los espacios destinados a la detención de los camiones para la bajada de estacas y la limpieza de la zona para habilitar un tercer sitio de trabajo. Se simula la incorporación de una sexta estación de bajada de estacas al modelo en serie, junto con la habilitación de un tercer sitio de trabajo distribuido también en serie. Esta reorganización permitió alcanzar un tiempo de ciclo promedio de 0:39:13 minutos. Sin embargo, la mejora en términos de reducción del tiempo fue mínima, ya que la disminución fue solo del 0,6% en el tiempo promedio de estadía. Además, el tiempo de procesamiento en la bajada de estacas no presentaron cambios, manteniéndose en 0:09:36 minutos, igual al tiempo de la simulación actual.

Al realizar 10 réplicas de la simulación, se obtuvo una reducción del 7,9%, lo que representó una disminución de 3 minutos en el tiempo de ciclo promedio de los camiones, como se muestra en la tabla 21. No obstante, el tiempo de El procesamiento en el sector de bajada de estacas experimentó solo una ligera mejora, registrándose en 0:09:28 minutos, lo cual se mantuvo prácticamente igual al escenario anterior.

Estadística de tiempo			
Tiempo de Ciclo de la Simulación (minutos)	Tiempo de Ciclo de 10 replicas (minutos)	Tiempo de procesamiento sector Bajada de estacas de la Simulación (minutos)	Tiempo de procesamiento sector Bajada de estacas de 10 replicas (minutos)
39,23	36,36	9,61	9,47

Tabla 21: Estadísticas del tiempo.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, para validar los resultados, se calculó el número necesario de réplicas, obteniendo como resultado 211 réplicas para lograr resultados estadísticamente significativos. En este escenario, se logrará una reducción de 3

minutos, lo que representó un 6,7% en el tiempo de ciclo de los camiones dentro del patio de madera, en comparación con el tiempo real. Sin embargo, el tiempo de estadía en el sector de bajada de estacas continuó por encima de los 9 minutos, como se examina en la Tabla 22.

Estadística de tiempo	
Tiempo de Ciclo de 108 replicas (minutos)	Tiempo de procesamiento sector Bajada de estacas de 108 replicas (minutos)
36,82	9,67

Tabla 22: Estadísticas del tiempo de 221 réplicas.

Fuente: Elaboración propia

Resumen de los experimentos

En la tabla 23, se presenta un resumen de los resultados de los tiempos de ciclo correspondientes a los diferentes experimentos y la situación actual. A simple vista, se puede observar que el Experimento 2 representa la mejor alternativa, ya que logra minimizar los tiempos de ciclo de los camiones al interior de planta. Sin embargo, al analizar en detalle la tabla 23, la cual examina con claridad la disminución de los tiempos en porcentaje y minutos para cada experimento, se evidencia que el Experimento 1 y 3 también son óptimos.

Experimentos	Tiempo de Ciclo			
	Tiempo de Ciclo Actual (minutos)	Tiempo de Ciclo del Experimento (minutos)	Porcentaje de mejora (%)	Minutos Disminuidos
Experimento 1	39,47	35	11,3%	4,47
Experimento 2 (8 min)		36,1	8,5%	3,37
Experimento 2 (7 min)		34,17	13,4%	5,3
Experimento 2 (6min)		32,47	17,7%	7
Experimento 2 (5 min)		31,21	20,9%	8,26
Experimento 3		36,82	6,7%	2,65

Tabla 23: Resumen de resultados de los tiempos de ciclo de los experimentos.

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Discusión de los resultados

Según los resultados obtenidos en los experimentos, una de las opciones más viable es implementar el experimento 2, ya que permite reducir hasta un 20,9% el tiempo de estadía de los camiones al establecer un límite de 5 minutos en la bajada de estacas. Sin embargo, este límite podría aumentar la tasa de accidentes, ya que



actualmente los conductores realizan sus tareas sin la presión de un tiempo determinado. Para mitigar este riesgo, se recomienda fortalecer el control en la zona mediante la supervisión activa del jefe de turno, utilizando las cámaras instaladas en septiembre, las cuales actualmente solo se emplean en caso de inconvenientes. Estas cámaras deben ser utilizadas de manera efectiva por el personal de Romana, para monitorear y reportar al jefe de turno de Serfocol cualquier exceso de tiempo o actividad no autorizada. Esta medida no requiere inversión económica, solo una buena comunicación entre los trabajadores.

En segundo lugar, el Experimento 1, que simula el reordenamiento de las barreras de contención para permitir el avance de los camiones listos sin bloqueos por parte de los más lentos, logró una reducción del 11% en el tiempo de estadía. Por otro lado, el Experimento 3, que planteó la delimitación de los espacios de detención y la reorganización del sector para optimizar el uso del espacio disponible, alcanzó una reducción del 6,7%. Ambos experimentos deben implementarse de manera complementaria, ya que una reestructuración del sector, junto con la delimitación de los espacios de detención de los camiones, generaría una operación más fluida y ordenada. Esto facilitaría el monitoreo a través de las cámaras instaladas, como se mencionó en el Experimento 2, permitiendo identificar rápidamente cualquier demora innecesaria durante la bajada de estacas.



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

La implementación del modelo de simulación permitió analizar y validar la situación actual del Patio de Maderas de la Planta Arauco, Línea 2, identificando y evaluando cada una de las estaciones por donde transitan los camiones. Este análisis reveló deficiencias en el sector de bajada de estacas, especialmente problemas relacionados con la falta de control y tiempos excesivos. Actualmente, los jefes de turno de Serfocol y el personal de Romana de Celulosa Arauco, están mayormente enfocados en evitar la acumulación de camiones en las líneas de trozado de pino o en las canchas de acopio debido a detenciones inesperadas o la falta de grúas para la descarga, entre otras tareas asignadas. Además, las barreras de contención existentes impiden el avance de camiones listos cuando el primero en llegar demora más tiempo de lo debido.

Para abordar estas problemáticas, se desarrollaron tres experimentos mediante la simulación de proceso, orientados a reducir los tiempos de estadía de los camiones. Estas propuestas incluyen el uso efectivo de las cámaras instaladas por el personal de Romana para un monitoreo constante del sector. Esto permitirá identificar a los camiones que exceden los tiempos y generar alertas al jefe de turno de Serfocol. También se propone la limpieza del sector de bajada de estacas para habilitar un tercer sitio de descarga en serie, actualmente inutilizado, así como la reubicación de las barreras de contención, lo que facilitará el retiro de los camiones listos sin depender del camión que se encuentre delante. Además, se plantea la delimitación de espacios de detención para que los operadores de Romana puedan identificar de forma rápida a los camiones con demoras inusuales y notificar al jefe de turno, quien tendrá la responsabilidad de agilizar el proceso. Estas medidas permitirán garantizar el cumplimiento de la productividad mínima de 3,4 vueltas diarias por camión, un parámetro clave para los contratos de transporte y la planificación de costos, para el cumplimiento de los objetivos establecidos por la planta. Asimismo, la reducción de los tiempos de estadía optimizará los costos operativos al disminuir el consumo de combustible y evitar la reasignación de camiones a rutas no



planificadas, contribuyendo también a la reducción del desgaste de neumáticos y otros costos fijos relacionados con la operación.

El estudio presenta varias limitaciones que deben ser consideradas. En primer lugar, los resultados y soluciones propuestas están centrados exclusivamente en el contexto de la Planta Arauco, Línea 2, ubicada en Arauco, Chile, y en su patio de maderas, lo que implica que los resultados obtenidos y las soluciones planteadas son aplicables únicamente a este entorno específico. En segundo lugar, el proyecto se desarrolló dentro de un plazo de ejecución de tres meses, lo que limitó la posibilidad de explorar soluciones con enfoques más amplios o de largo plazo, dado que Celulosa Arauco requería mejoras inmediatas. Además, los tiempos de procesamiento se tomaron en primavera, cuando las condiciones climáticas eran más estables y soleadas; sin embargo, durante el invierno, con lluvias, los tiempos de procesamiento en cada etapa podrían verse afectados, lo que podría aumentar los tiempos de estadía.

Como recomendaciones, se sugiere a Celulosa Arauco priorizar la implementación conjunta de las medidas propuestas en los experimentos simulados. Esto incluye establecer un uso eficiente de las cámaras instaladas por parte del personal de Romana, requerir a Serfocol la limpieza del área para habilitar el tercer sitio de descarga, retirar las barreras de contención para optimizar el flujo de camiones y delimitar claramente los espacios de detención. Estas acciones, llevadas a cabo de manera coordinada, contribuirán significativamente a optimizar los tiempos de operación, mejorando el control operativo y garantizando el cumplimiento de los objetivos logísticos y financieros del sistema.



BIBLIOGRAFÍA

- Candía Rodríguez, S. (2023). Estudio de simulación del patio de maderas de Celulosa Arauco y Constitución Planta Nueva Aldea. [Tesis de pregrado, Universidad San Sebastián].
- Celulosa Arauco y Constitución. (2019). Código de ética. https://arauco.com/chile/wpcontent/uploads/sites/14/2017/07/2021_Co%CC%81digo_de_E%CC%81tica.pdf .
- Celulosa Arauco y Constitución. (2021). ARAUCO. https://www.arauco.cl/argentina/wpcontent/uploads/sites/15/2017/07/REPORTE_2021.pdf.
- Celulosa Arauco y Constitución. (2022). Informe Integrado. Santiago. https://www.arauco.cl/chile/wpcontent/subidas/sitios/14/2023/04/REPORTE_INTEGRADO_ARAUCO.pdf.
- Del Congreso Nacional, (1995). Biblioteca del Congreso Nacional. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=31779&utm_source
- Evans, JR (2016). Introducción a la simulación y al análisis de riesgos. Wiley.
- Guías de Scrum. (sf) . <https://scrumguides.org/scrum-guide.html> .
- Harry, M., y Schroeder, R. (2006). El poder de Six Sigma. McGraw-Hill.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, MP (2014). Metodología de la investigación (6ta ed.). McGraw-Hill.
- Joines, JA y Roberts, SD (2015). Modelado de simulación con SIMIO: Un libro de trabajo (4ta ed.). SIMIO LLC.
- Keller Mella, N. (2022). Programación para la optimización y simulación de Línea 2 del patio de maderas de Planta Arauco [Tesis de pregrado, Universidad San Sebastián].
- Neagoe, M., Hvolby, HH, Taskhiri, MS y Turner, P. (2021). Uso de simulación de eventos discretos para comparar iniciativas de gestión de la congestión en una terminal portuaria. *Práctica y teoría de modelos de simulación*, 112, 102362. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1569190X21000769> .



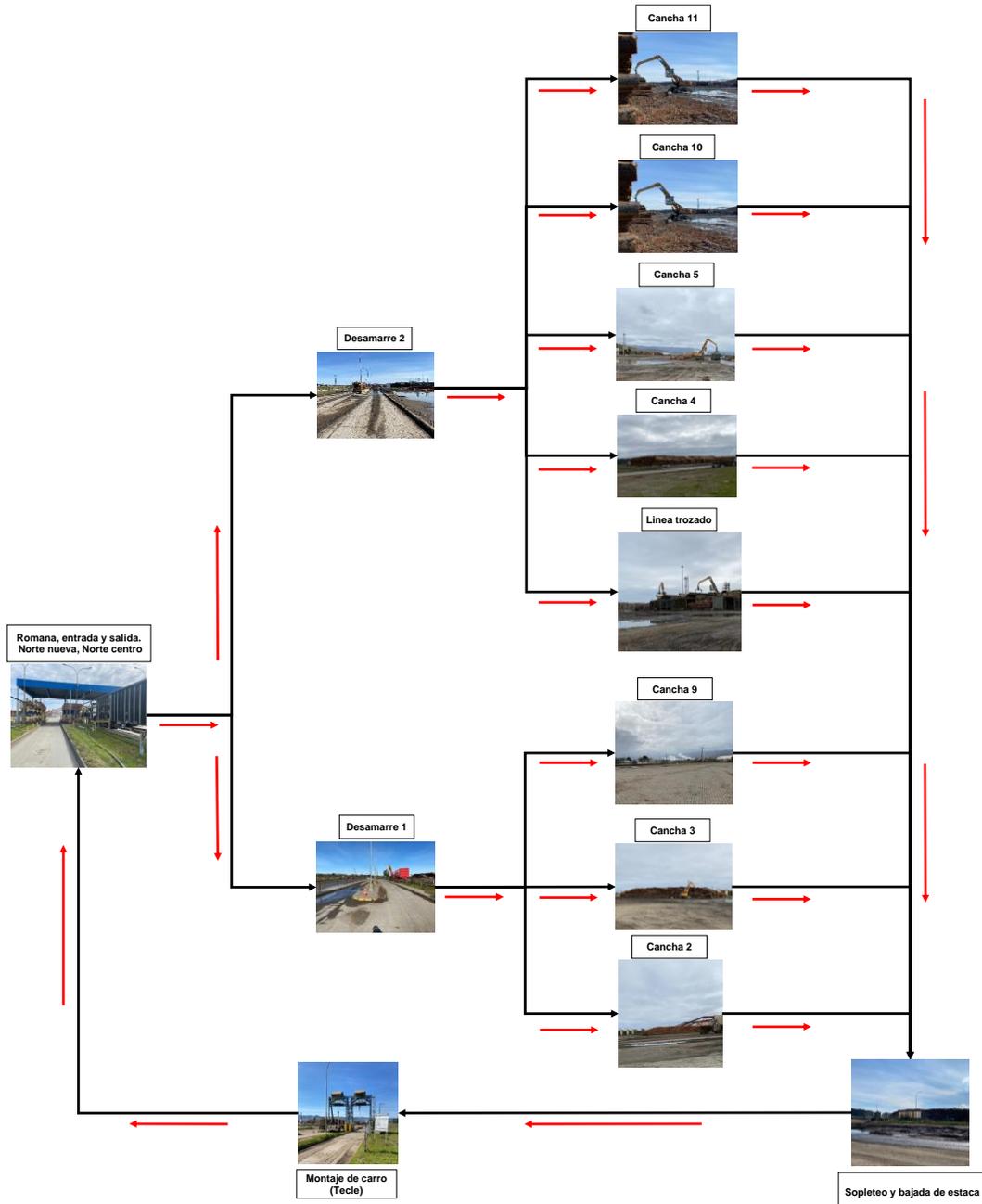
- Pinho, TM, Coelho, JP, Moreira, AP y Boaventura-Cunha, J. (2016). Modelado de una cadena de suministro de biomasa mediante simulación de eventos discretos. *IFAC-PapersOnLine*,49(2),84-89. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316300155> .
- Pulido-Rojano, A., Verdeza-Villalobos, A., Martínez-Jiménez, B., Pérez-De-Ávila, K., Castellanos-Benítez, D., Sarmientopérez-Polo, J., & Pulido-Rojano, P (2022). Un modelo de simulación de eventos discretos para el análisis de un sistema de líneas de espera en servicios portuarios: un estudio de caso. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 30(1), 145-156. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052022000100145> .
- Salazar, B. (2016). Cálculo del número de observaciones (Tamaño de la muestra).<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/estudio-de-tiempos/calculo-delnumero-de-observaciones/>.
- Sánchez, J. y Alexandra, A. (2021). Optimización del terminal de pasajeros del Aeropuerto Internacional Abraham González usando simulación SIMIO. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de la Ciudad Juárez].
- Shannon, RE (1975). *La simulación de los sistemas. El arte y la ciencia, los principios.* Acantilados de Englewood, Nueva Jersey: Prentice-Hall.
- SIMIO. (2024). SIMIO. <https://es.simio.com/inde.ph> .
- Wilson, R., Mercier, PHJ, y Navarra, A. (2022). Red neuronal artificial integrada y marco de simulación de eventos discretos para el desarrollo regional de sistemas refractarios de oro. *Mining*, 2(1), 123-154. <https://doi.org/10.3390/mining2010008>.

ANEXOS

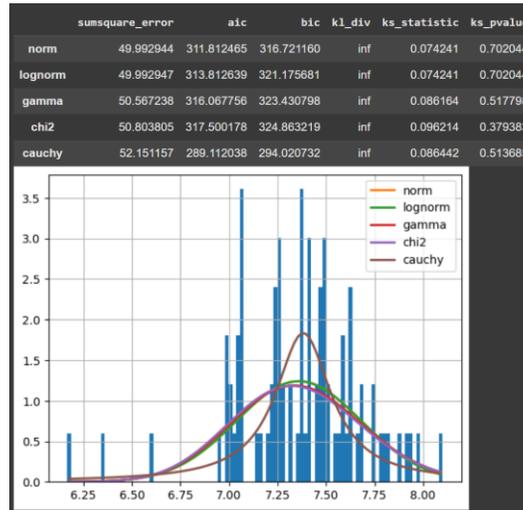
Anexo 1: Paso a Paso

PASO A PASO				
	Versión	Objetivo	Planta:	Celulosa Arauco, Horcones
	1	Estandarizar los pasos y tiempos establecidos para descarga de trozos en preparación madera	Área	Línea 2
	Fecha		Creado por:	Claudio Bastias Fernández
			Validado por:	
Descripción del Estándar Paso a Paso				
Imagen	N° Paso	Descripción actividad	Tiempo [min]	Responsable
	1	Ingreso por romana de entrada Norte nueva, norte centro, según sea requerido el tablero. Cuando la barrera este arriba se debe ingresar el ticket QR, para entregar el ticket de ingreso y verificar el punto de descarga.	00:00	Operador Cabina Romana
	2.1	Según indique el ticket de ingreso, se realizara el desamarre del camion, independiente de su trozo, se va al primer desamarre los que se dirigen a descargar a cancha 2, cancha 3 o cancha 9, el chofer debe realizar esta actividad utilizando sus EPP.	Cancha	Chofer del camion
	2.2	Según indique el ticket de ingreso, se realizara el desamarre del camion, independiente de su trozo, se va al segundo desamarre los que se dirigen a descargar a las línea trozado pino o las canchas 4, 5, 11 ó 10, el chofer debe realizar esta actividad utilizando sus EPP.	Línea	Chofer del Camion
	3.1	Una ves se haya realizado el desamarre, se debe dirigir a la ubicación señalada en el ticket de ingreso, de prioridad se envían directamente a línea astillado pino lado pacifico o lado andes.	05:36	Operador de Grúa
	3.2	Una ves se haya realizado el desamarre, se debe dirigir a la ubicación señalada en el ticket de ingreso, si las líneas se encuentran colapsadas de espera, o la línea se encuentra en mantencion, se envían a las canchas de acopio.	05:36	Operador de Grúa
	4	Una vez el camion este descargado debe pasar por la zona de sopleteo, continuando la rotonda para realizar la bajada de estacas, el chofer debe realizar esta actividad utilizando sus EPP.	00:23	Chofer del Camion
	5	Una ves se haya limpiado el carro del camión debe pasar por zona de montaje carros, el chofer debe ingresar una ves el semaforo este en verde. En este proceso se debiera desconectar el sistema de luces y aire al carro para ser montado, una ves el tecla monte el carro el chofer debiera conectar sistema de luces y aire al carro.	08:38	Operador de Tecla
	6	Cuando se haya montado el carro, el camion debiera continuar con direccion a Romana. Una ves haya llegado a Romana, se debiera ubicar frente a la salida y esperar que el semaforo este en verde y barrera arriba para poder salir de planta.	00:00	Operador Cabina Romana

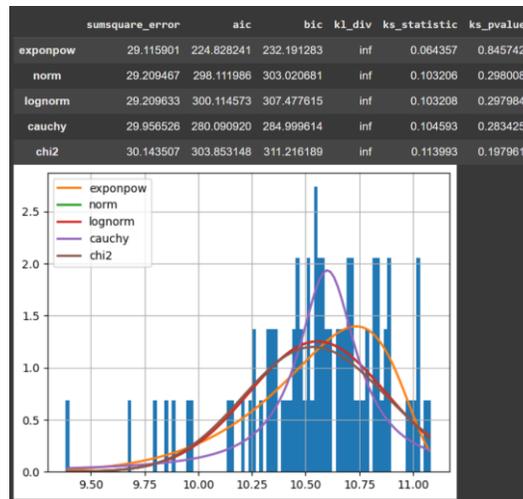
Anexo 2: Flujo Grama



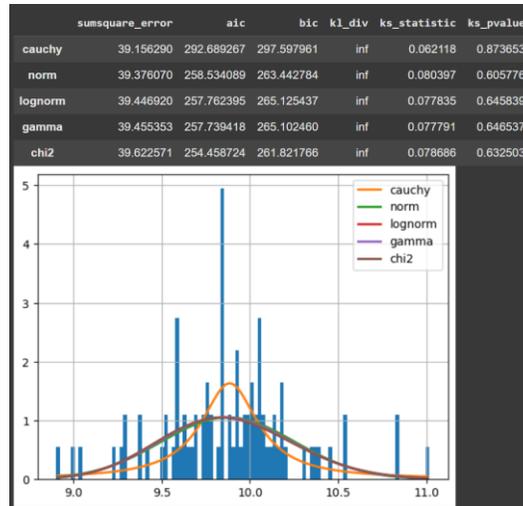
Anexo 3: Gráfico y Prueba de Bondad para Desamarre: Metro ruma 2.44 [m]



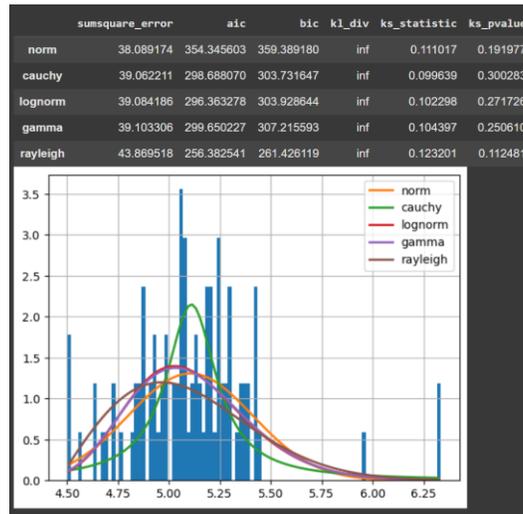
Anexo 4: Gráfico y Prueba de Bondad para Descarga en Línea trozado: Metro ruma 2.44 [m]



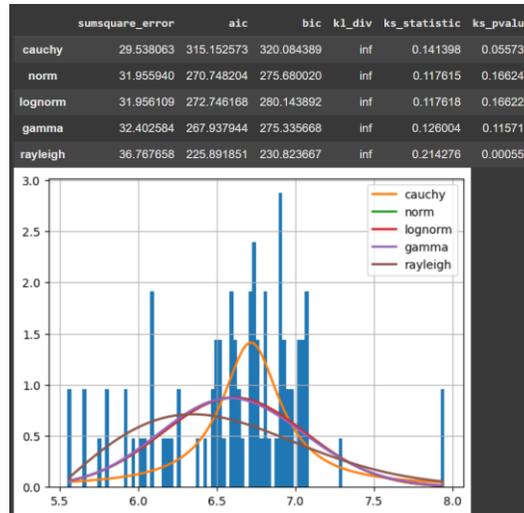
Anexo 5: Gráfico y Prueba de Bondad para Descarga Cancha de acopio: Metro ruma 2.44 [m]



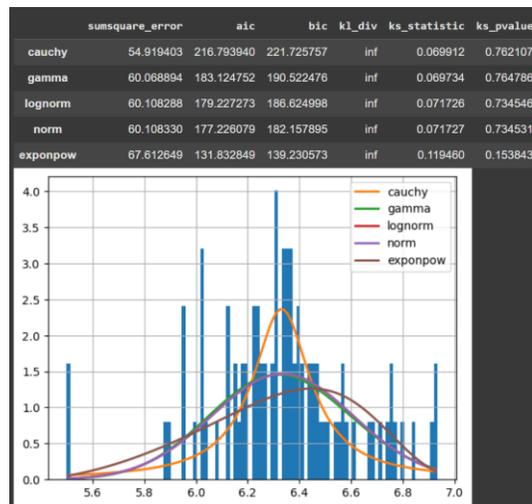
Anexo 6: Gráfico y Prueba de Bondad para Desamarre: Largo fijo 4.10 [m]



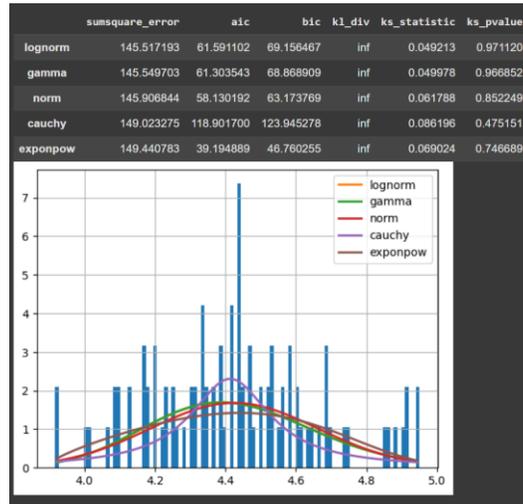
Anexo 7: Gráfico y Prueba de Bondad para Descarga en Línea trozado: Largo fijo 4.10 [m]



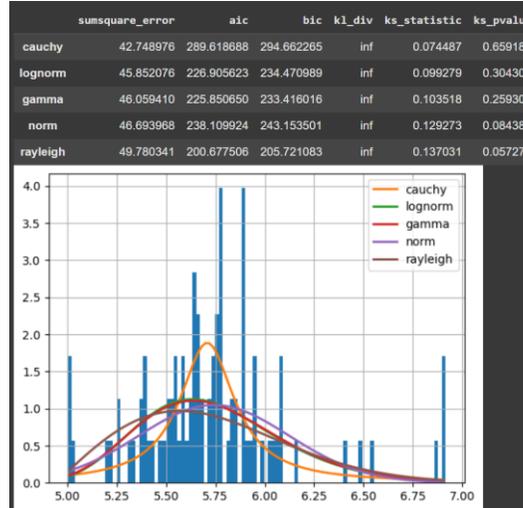
Anexo 8: Gráfico y Prueba de Bondad para Descarga Cancha de acopio: Largo fijo 4.10 [m]



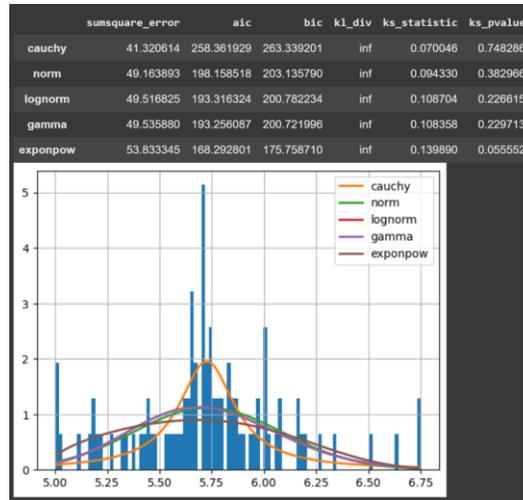
Anexo 9: Gráfico y Prueba de Bondad para Desamarre: Largo Variable 6.00 [m]



Anexo 10: Gráfico y Prueba de Bondad para Descarga en Línea trozado: Largo Variable 6.00 [m]



Anexo 11: Gráfico y Prueba de Bondad para Descarga Cancha de acopio: Largo Variable 6.00 [m]



Anexo 12: Tasa de llegada para los Rollizos

Rate Tables		
ArriboCamiones		
Starting Offset	Ending Offset	Rate (events per hour)
Day 1, 00:00:00	Day 1, 01:00:00	11
Day 1, 01:00:00	Day 1, 02:00:00	11
Day 1, 02:00:00	Day 1, 03:00:00	7
Day 1, 03:00:00	Day 1, 04:00:00	11
Day 1, 04:00:00	Day 1, 05:00:00	14
Day 1, 05:00:00	Day 1, 06:00:00	10
Day 1, 06:00:00	Day 1, 07:00:00	14
Day 1, 07:00:00	Day 1, 08:00:00	3
Day 1, 08:00:00	Day 1, 09:00:00	10
Day 1, 09:00:00	Day 1, 10:00:00	14
Day 1, 10:00:00	Day 1, 11:00:00	22
Day 1, 11:00:00	Day 1, 12:00:00	23
Day 1, 12:00:00	Day 1, 13:00:00	10
Day 1, 13:00:00	Day 1, 14:00:00	15
Day 1, 14:00:00	Day 1, 15:00:00	10
Day 1, 15:00:00	Day 1, 16:00:00	13
Day 1, 16:00:00	Day 1, 17:00:00	21
Day 1, 17:00:00	Day 1, 18:00:00	12
Day 1, 18:00:00	Day 1, 19:00:00	16
Day 1, 19:00:00	Day 1, 20:00:00	3
Day 1, 20:00:00	Day 1, 21:00:00	19
Day 1, 21:00:00	Day 1, 22:00:00	15
Day 1, 22:00:00	Day 1, 23:00:00	17
Day 1, 23:00:00	Day 2, 00:00:00	10



Anexo 13: Entidades en Simio, camiones según el largo del rollizo y tipo de camión.



Largo_Variable_SC



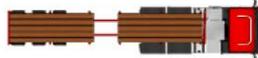
Largo_Fijo_SC



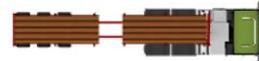
Metro_Ruma_SC



Largo_Variable



Largo_Fijo



Metro_Ruma