



# Arribo de camiones al puerto, almacenamiento y embarque de granos

Alejandro Recalde, Nicolás Antonelli, Joshua Acciarri

*Trabajo Final de Simulación*

Supervisores: Guillermo Leale y Juan Torres

Octubre 2020



**Facultad Regional Rosario**

Universidad Tecnológica Nacional

Alejandro Recalde, Nicolás Antonelli, Joshua Acciarri  
Arribo de camiones al puerto, almacenamiento y embarque de  
granos  
Trabajo Final de Simulación  
Supervisores: Guillermo Leale y Juan Torres

Ingeniería en Sistemas de Información  
Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Rosario  
Zeballos 1341  
2000, Rosario

# Abstract

This work proposes a dynamic computational simulation to study the behavior and performance of the activities that make up the critical grain shipment process from one of Rosario's ports (city considered to be the most important agro-export node in the world), through the implementation of measurable indicators for the different activities in the simulated process to then analyze, through an alternative model, how a specific change (such as increasing the silos' unload rate by purchasing better conveyor belts) can decrease the shipping time of grains and how this change influences other activities in the process, eliminating bottlenecks and making the port a more desirable option compared to the competition, justifying whether the investment necessary to optimize such activities is worth it.

Keywords — Simulation, Dock, Cereal, Grains, Trucks, Ships, Silos, Conveyor Belt

# Resumen

Este trabajo propone una simulación computacional dinámica para estudiar el comportamiento y rendimiento de las actividades que componen el proceso crítico de embarque de granos de uno de los puertos de Rosario (ciudad considerada como el nodo agroexportador más importante del mundo), a través de la implementación de indicadores medibles para las diferentes actividades del proceso simulado para luego analizar, mediante un modelo alternativo, cómo un cambio específico (como es aumentar el ratio de descarga de los silos a partir de la compra de mejores cintas transportadoras) puede disminuir el tiempo de embarque de granos y cómo este cambio influye en otras actividades del proceso, eliminando cuellos de botella y logrando que el puerto sea una opción más deseable frente a la competencia, justificando si la inversión necesaria para optimizar tales actividades valen la pena.

Palabras clave — Simulación, Puerto, Cereal, Granos, Camiones, Barcos, Silos, Cinta Transportadora

# Agradecimientos

Aprovechamos este espacio para agradecer a los profesionales a continuación, por su vital aporte de información sobre el sumamente complejo sector marítimo:

1. Wirtz, Gustavo  
Gerente de Sistemas - Terminal VI Y VII - Servicios Portuarios SA
2. Hraste, Amilcar  
Transportista con 30 años de experiencia
3. Noguera, Tomás  
Técnico Superior en Comercio Exterior - Agente Marítimo - Wave SA

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Marco Teórico . . . . .	1
1.1.1. Conceptos Fundamentales . . . . .	1
1.1.2. Agroexportaciones y puertos . . . . .	3
1.2. Servicios Portuarios Rosario . . . . .	4
1.3. Problemas y Objetivos . . . . .	5
<b>2. Metodología</b>	<b>6</b>
2.1. Convenciones y Supuestos . . . . .	6
2.2. Diseño del modelo . . . . .	7
2.3. Medidas de rendimiento . . . . .	11
2.4. Técnicas aplicadas para recolección de datos . . . . .	12
2.5. Modelo alternativo realizado . . . . .	13
<b>3. Resultados</b>	<b>14</b>
3.1. Tiempo de embarque de granos . . . . .	14
3.1.1. Resultados modelo original . . . . .	14
3.1.2. Resultados modelo alternativo . . . . .	15
3.1.3. Comparación: Intervalos de confianza . . . . .	15
3.1.4. Comparación: Test de medias . . . . .	16
3.1.5. Comparación: Gráficas . . . . .	16
3.2. Tiempo promedio en cola para descarga de maíz . . . . .	17
3.2.1. Resultados modelo original . . . . .	17
3.2.2. Resultados modelo alternativo . . . . .	17
3.2.3. Comparación: Intervalos de confianza . . . . .	18
3.2.4. Comparación: Gráficas . . . . .	19
3.3. Tiempo promedio en cola para descarga de trigo, soja y sorgo . . . . .	19
3.3.1. Resultados modelo original . . . . .	19
3.3.2. Resultados modelo alternativo . . . . .	20
3.3.3. Comparación: Intervalos de confianza . . . . .	21
3.3.4. Comparación: Test de medias . . . . .	21
3.3.5. Comparación: Gráficas . . . . .	22

<b>4. Discusión</b>	<b>23</b>
4.1. Interpretación de los resultados . . . . .	23
4.2. Implicaciones económicas . . . . .	24
4.3. Limitaciones . . . . .	25
4.4. Recomendaciones futuras . . . . .	25
<b>5. Conclusiones</b>	<b>26</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>27</b>
<b>A. Apéndice: Tecnologías y Licencias</b>	<b>29</b>
A.1. Repositorio en GitHub . . . . .	29
A.2. Licencia AnyLogic . . . . .	29





# Introducción

## 1.1 Marco Teórico

### 1.1.1 Conceptos Fundamentales

#### Sistema

Un objeto (fenómeno real) [Wik20a] cuyas partes o componentes son una colección de entidades que se relacionan con al menos alguno de los demás componentes, es decir, interactúan entre ellos y cumplen un fin o propósito. Un sistema no necesariamente es material, también puede ser conceptual.

Para analizar como se comporta un sistema, si bien podemos experimentar con él directamente, esto no suele ser rentable (e inclusive factible) en la mayoría de los casos y es más conveniente experimentar con un Modelo del sistema.

#### Modelo

Representación simplificada de la realidad, que facilita su comprensión y el estudio de su comportamiento. Debe mantener un equilibrio entre sencillez y capacidad de representación. Para representar un sistema, podemos utilizar un modelo físico o un modelo matemático.

**Modelo físico:** Normalmente son construcciones en escala reducida o simplificada de obras, máquinas o sistemas de ingeniería para estudiar en ellos su comportamiento y permitir así perfeccionar los diseños, antes de iniciar la construcción de las obras u objetos reales. Por ese motivo, a este tipo de modelo se le suele llamar también modelo reducido o modelo simplificado.

**Modelo matemático** [Wik20b]: Cualquier esquema simplificado e idealizado de un objeto (fenómeno real), constituido por símbolos y operaciones (relaciones) matemáticas; es decir, una forma de representar cada uno de los tipos de entidades que intervienen en un proceso de la realidad mediante objetos matemáticos. Las relaciones matemáticas formales entre los objetos del modelo, deben representar de alguna manera las relaciones reales existentes entre las diferentes entidades o aspectos del sistema u objeto real. Este tipo de modelo requerirá que se pueda

seguir el camino inverso al modelado, permitiendo reinterpretar en la realidad las predicciones del modelo.

Planteado un modelo matemático, tendremos que optar por realizar una Solución Analítica, y/o una Simulación por computadora.

#### Soluciones Analíticas

Una vez "traducido" o "representado" cierto problema en forma de modelo matemático, si este no es extremadamente complejo y/o caótico, se puede proceder a aplicar el cálculo, el álgebra y otras herramientas matemáticas para deducir el comportamiento del sistema bajo estudio. De esta forma, se consiguen predicciones exactas que se reflejan en el sistema real (llamamos a eso solución analítica).

Una forma alternativa podría ser buscar una solución heurística, es decir buscar una solución aproximada a la exacta basado en una estrategia, método, o criterio usado para hacer más sencilla la predicción en modelos complejos.

No siempre existe un método heurístico o es conveniente utilizar uno para hallar una solución a un problema complejo, o bien este es muy caótico para modelarlo solo con elementos matemáticos tradicionales y que tenga una solución realista, o quizás el tiempo requerido o el costo de recursos hace que no sea factible utilizar uno.

Para todos estos casos, la mejor opción es optar por hacer una simulación del modelo.

#### Simulación por computadora

Es un intento de modelar situaciones de la vida real por medio de un programa de computadora, lo que requiere ser estudiado para ver cómo es que trabaja el sistema y hacer predicciones sobre su comportamiento y que si bien no son exactas, se apunta a llegar a soluciones realistas y aproximadas a lo que en el sistema sucede. Su comportamiento puede cambiar en cada simulación según el conjunto de parámetros iniciales supuestos por el entorno.

En una simulación también se puede buscar generar una muestra de escenarios representativos para un modelo en que una enumeración analítica completa de todos los estados posibles serían prohibitivos o imposibles.

La simulación por computadora se ha convertido en una parte útil del modelado de muchos sistemas naturales en física, química y biología, y sistemas humanos como la economía y las ciencias sociales (sociología computacional), etc...

#### Modelos de simulación deterministas [Dar18]

Si un modelo de simulación no contiene ningún componente probabilístico (es decir, aleatorio), se denomina determinista. En los modelos determinísticos, la salida se "determina" una vez que se ha especificado el conjunto de valores de entrada y

relaciones en el modelo, aunque podría llevar mucho tiempo procesamiento evaluar el resultado.

Modelos de simulación estocásticos [Dar18]

Sin embargo, muchos sistemas deben modelarse para que tengan al menos algunos componentes de entrada aleatorios, y estos dan lugar a modelos de simulación estocástica. Los modelos de simulación estocástica producen resultados que son en sí mismos aleatorios y, por lo tanto, deben tratarse solo como una estimación de las verdaderas características del modelo.

Este último concepto es muy importante para comprender luego los modelos que tienen que ver con este trabajo, explicados en secciones siguientes.

### 1.1.2 Agroexportaciones y puertos

Un puerto es un lugar en la costa que, por sus características naturales o artificiales, resulta resguardada de gran oleaje, y donde las embarcaciones pueden realizar diversas maniobras: como fondeo, atraque, estadía y desatraque; y operaciones como transferencia de cargas, embarque y desembarque de pasajeros. Suelen contar, además, con servicios para las embarcaciones, pasajeros y cargas.

Desde el punto de vista funcional, las obras y las instalaciones de un puerto se pueden clasificar por su ubicación. Así, se distinguen cuatro zonas diferentes:

La zona marítima destinada al barco, y en la que se disponen: las obras de abrigo que protegen la zona de atraques del oleaje exterior y las obras de acceso que facilitan el acceso del barco al puerto en condiciones de seguridad, garantizando su maniobrabilidad, anchura y calado adecuados; así como la correcta señalización.

La zona terrestre, destinada fundamentalmente a la mercancía, incluye la superficie de operación terrestre constituida por los muelles, que además de facilitar el atraque y amarre de los barcos, sirven de soporte al utillaje y de acopio provisional de mercancías; y los depósitos que además de adecuar un espacio a las mercancías, sirven de regulación de los flujos marítimo-terrestres.

La zona de evacuación, destinada al transporte terrestre, en la que se debe diferenciar las vías de acceso al puerto desde la red de carreteras general, las de circunvalación o reparto y las de penetración a la zona de operación terrestre, con sus áreas de maniobra y estacionamiento.

Ocasionalmente puede ubicarse en los puertos una zona de asentamiento de industrias básicas: siderurgias, astilleros, petroquímicas, refinerías, etc...

En Argentina, los cereales y derivados de soja representan la mayoría de los bienes que exportados en los últimos años, por lo que nos enfocaremos de la relación entre el Agro y los puertos.

Para un productor que busca exportar los cereales (trigo, maíz, soja, sorgo, girasol, cebada, arroz, etc...) que ha producido a otro territorio internacional (o nacional considerablemente lejano) deberá primero transportar (probablemente en camión o en tren) su mercancía a un puerto para que se encargue de realizarle los servicios necesarios como el almacenamiento temporal, acondicionamiento y elevación del producto al barco, necesarios para que éste pueda ser exportado en barco.

Es por esto que los puertos juegan un rol fundamental en el modelo de las agro-exportaciones, siendo de interés su correcto funcionamiento para garantizar que el gran movimiento de trabajo y dinero que posee no se vea afectado por procesos ineficientes.

## 1.2 Servicios Portuarios Rosario

[Ser20]

La organización Servicios Portuarios SA tiene en posesión uno de los puertos más grandes de la ciudad argentina Rosario, considerada el nodo agroexportador más importante del mundo pues desde el denominado “Gran Rosario” se exportaron más de 15.48 millones de toneladas (MT) el año pasado [Rur20], siendo éste el mayor número registrado comparado con otras zonas agroexportadoras internacionales.

Nos interesa desarrollar parte de la zona terrestre del puerto (Terminal VI), en donde podemos encontrar un sistema complejo para realizar, de punta a punta, la descarga de cereal desde camiones hasta su posterior embarque; pasando en el medio por un gran sistema de norias y cintas transportadoras que transportan el cereal desde las plataformas de descarga hacia los silos de almacenamiento, y luego de su correcto acondicionamiento, análisis de muestras y acordado el momento de llegada del barco, son trasladados por otras norias denominadas chimangos que, en pocas palabras, funcionan como brazos que despliegan todos los cereales hacia las bodegas del barco cuando éste ha atracado. Otros elementos de la zona terrestre importantes a destacar, son las balanzas que posee servicios portuarios para pesar la carga de los camiones: primero pesaje en bruto (antes de descargar) y luego pesaje de tara (después de descargar), para garantizar cuál es el peso neto del cereal en cada ocasión. Posee un par de cada tipo de balanzas, así como también un par de plataformas de descarga.

## 1.3 Problemas y Objetivos

El sistema que nos interesa modelar, es aquel en el cual encontramos el proceso crítico de terminal VI, el cual denominamos “Arribo de camiones al puerto, almacenamiento y embarque de granos”. Con el pasar del tiempo, las colas de camiones en el puerto son cada vez más largas generando que los conductores deban pasar largas horas allí, a la vez que las capacidades del puerto para almacenar toneladas de cereales cada día está cada vez más cerca de escasear. A su vez, los mecanismos para embarcar todo el cereal poseen una velocidad poco eficiente como para que se complete el llenado del barco en los estándares que posee otros puertos competencia en el nodo de Rosario. Éste último, es de interés especial en la gerencia del puerto, por lo que brindaremos especial enfoque acá.

Es esta justificación suficiente para realizar un modelo de simulación de una versión simple pero realista del funcionamiento de los componentes de este proceso a partir de alguna herramienta informática, realizar todas las medidas de rendimiento necesarias para tener referencias del comportamiento actual, analizar donde están los elementos responsables de hacer (o tener riesgo en un futuro cercano de) cuellos de botella en el proceso crítico.

Como se explicará en la sección siguiente, nuestro objetivo es también plantear una solución al problema mencionado, a partir de analizar toda la información recolectada; y modelizar esta solución para comparar su rendimiento con respecto al comportamiento actual del sistema. Si esta alternativa resulta satisfactoria y conveniente para el puerto, a la vez que viable económicamente, podrá resolver parte de los problemas planteados.

Se tiene como primera hipótesis que si se compran cintas transportadoras de un modelo actual (ya que el puerto posee modelos antiguos de mas de 70 años), aumentaría el ratio de circulación de grano en la fase de carga de buques y se lograría disminuir el tiempo de carga de los barcos permitiendo cumplir con las expectativas de la dirección del puerto. Como hipótesis complementaria a esto, se supone que los tiempos en cola para descarga de granos aumentarán al disponerse de mas lugar en los silos dado la mayor tasa de salidas de grano.

# Metodología

## 2.1 Convenciones y Supuestos

Cada camión cuenta con un tanque donde almacena el cereal que transporta, el cual tiene una capacidad aleatoria que sigue una distribución triangular con valor mínimo y máximo de 80 y 100 toneladas, y una moda de 95 toneladas, lo cual se explica al haber modelos de camiones con diferentes capacidades de carga en la realidad.

Cada camión transporta sólo un tipo de grano, y este tipo es aleatorio con una distribución empírica discreta basada en una aproximación de las cantidades reales exportadas por el puerto durante el año 2018 [Rur19]:

$$p(x) = \begin{cases} 0.5 & t = 0 \rightarrow \text{Maíz} \\ 0.3 & t = 1 \rightarrow \text{Trigo} \\ 0.1 & t = 2 \rightarrow \text{Soja} \\ 0.1 & t = 3 \rightarrow \text{Sorgo} \end{cases}$$

La tasa de arribos de los camiones basado en estimaciones del personal del puerto es de 1000/día, mientras que su tiempo de descarga se estima en  $2.083 \frac{\text{toneladas}}{\text{segundo}}$ .

Se optó por un esquema de silos estático, pues se tiende a una determinada organización según la temporada y permite hacer más precisa la obtención de medidas de rendimiento. Es fácilmente modificable si cambian las tendencias de mercado.

Los pedidos de exportación de los barcos poseen un tipo de grano preferido para cada una de sus 5 bodegas, y el tipo de grano a pedir posee una distribución equivalente a la de los camiones. La cantidad a transportar en cada bodega es de 6000 toneladas.

Se supone al puerto trabajando las 24 hs. Para reducir el tiempo de cómputo necesario y a la vez no limitarnos a resultados de un período corto, se tomo como escala que cada segundo de simulación equivale a 24 segundos de tiempo real a simular, realizando la configuración y recolección de resultados del modelo con esto en mente. En cuanto a los valores de configuración, se pueden observar junto a sus equivalencias en la siguiente tabla:

Proceso	Tiempo Real			Tiempo Simulación		
	En Horas	En Minutos	En Segundos	En Horas	En Minutos	En Segundos
Día completo (Referencia)	24	1440	86400	1	60	3600
Espera en Playa Pérez	1.66	99.6	5976	0.069	4.14	248.4
Pesaje Neto	0.08333	4.9998	299.988	0.003	0.18	10.8
Pesaje Tara	0.08333	4.9998	299.988	0.003	0.18	10.8
Llegada Barco	24	1440	86400	1	60	3600
Llegada 1000 camiones	24	1440	86400	1	60	3600

Fig. 2.1.: Configuración de tiempos

## 2.2 Diseño del modelo

El modelo de simulación abarca las siguientes actividades:

- Una parte inicial que corresponde a la simulación de los arribos de los camiones a Playa Pérez (la playa de estacionamiento del puerto ubicada en la ciudad de Pérez), con un ratio de llegada de 1000 por día mencionado en la sección Supuestos. Se simuló con una capacidad máxima de 60 camiones, como se ve en la imagen.

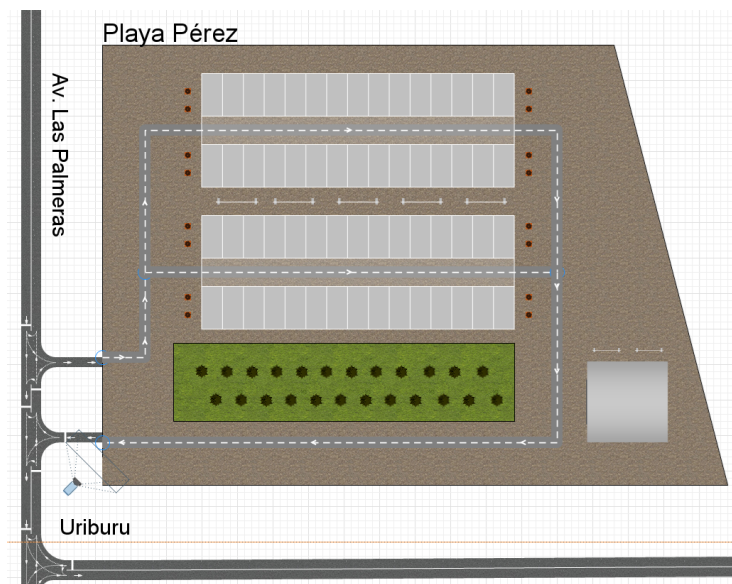


Fig. 2.2.: Locación Playa Pérez

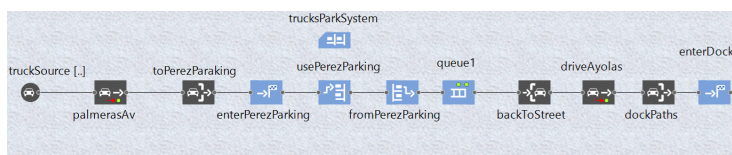
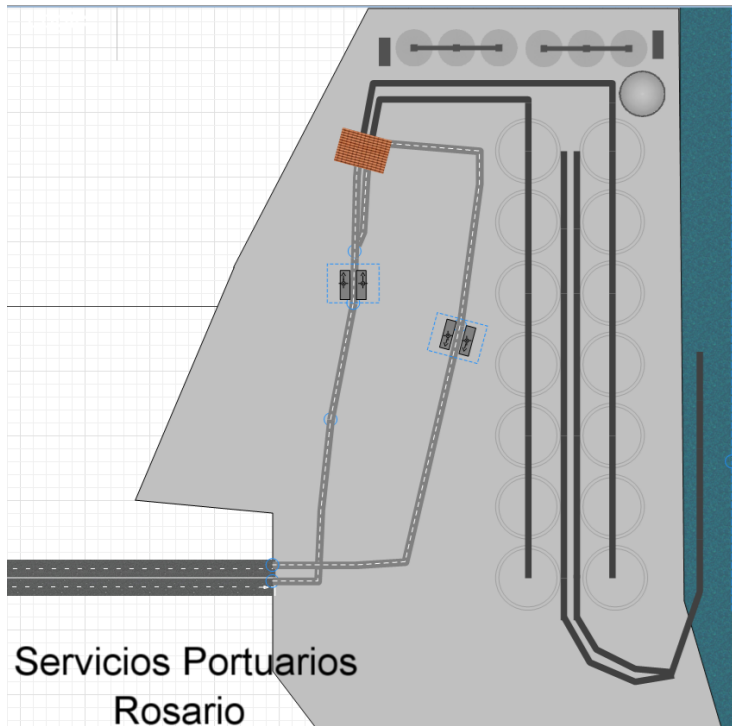


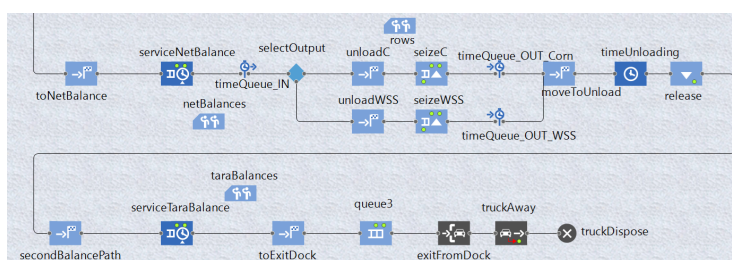
Fig. 2.3.: Lógica Playa Pérez

Al llegar desde Av. Las Palmeras el agente se posiciona en cualquier lugar disponible del rack. Esperando una cantidad aleatoria de tiempo, la cual que sigue una distribución uniforme con mínimo de 75 segundos de simulación (media hora real) y máximo 250 segundos de simulación (1 hora y 40 minutos en la realidad). Para luego salir por Uriburu e ir en dirección al puerto por Circunvalación, y finalmente llegar a la entrada del puerto por Ayolas.

- Cuando el camión ingresa al puerto:



**Fig. 2.4.:** Locación Puerto



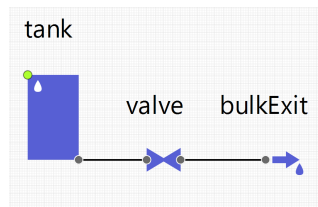
**Fig. 2.5.:** Lógica Puerto

Los camiones entran a la cola para pesaje inicial bruto, ingresando a alguna de las dos balanzas con medidor electrónico (servidores), esperando un tiempo aleatorio que sigue una distribución triangular con moda de 9 segundos de simulación (3.6



minutos reales), máximo de 12 segundos (4.8 minutos en la realidad) y mínimo de 8 segundos (3.2 minutos).

- Agente camión: además de poseer un elemento gráfico, está internamente compuesto de un tanque que representa la carga que lleva (secc. 2.1) y el mecanismo para poder descargar.



**Fig. 2.6.:** Lógica del Camión

- Descarga: Luego de ser pesados, estos pasan a la cola para esperar que la plataforma de descarga correspondiente según el tipo de grano que transporten (maíz a la derecha y los otros tres tipos de granos a la izquierda) esté disponible.

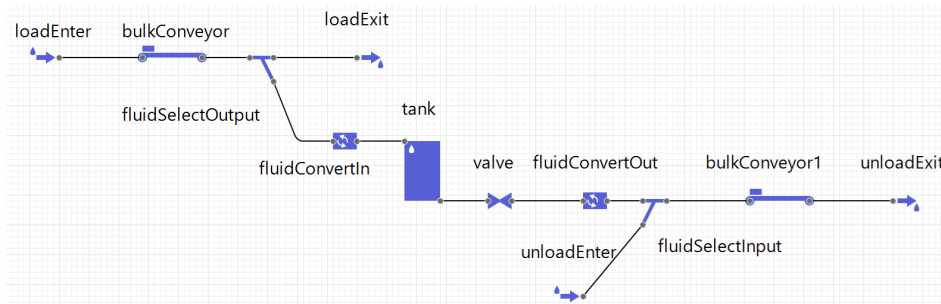
El tiempo que ocupan descargando depende de la cantidad de grano que lleven en sus tanques y del ratio de descarga de las plataformas hidráulicas del puerto, el cual hemos mencionado en supuestos que se estima en  $2.083 \frac{\text{toneladas}}{\text{segundo}}$ , lo que equivale en tiempo de simulación a  $50 \frac{\text{toneladas}}{\text{segundo}}$ .

En cuanto a la selección del silo para almacenar la carga, el mismo es elegido según si posee la capacidad suficiente (obtenida de la diferencia entre la capacidad máxima que puede soportar y el volumen de grano reservado) y si el tipo de grano correspondiente coincide con el asignado para ese silo.

Para representar los camiones a los que no se les pudo asignar turno, se estableció que para aquellos que lleguen al área de descarga y se encuentren con que no hay silos disponibles para poder almacenar su carga, se vayan del puerto sin ocupar tiempo de descarga, luego se procede a agregar esta carga en un arreglo de capacidades insatisfechas por tipo de grano.

- El sistema de norias/cintas transportadoras que transportan el cereal desde las plataformas consta de dos cintas paralelas:
  1. la derecha: conecta con 7 silos de maíz (el grano con mayor demanda en las temporadas más recientes analizadas para esta simulación)
  2. la izquierda: conecta con 4 silos de trigo, 2 de soja y 1 de sorgo (lo que se explica por la distribución empírica discreta mencionada en la sección Supuestos)

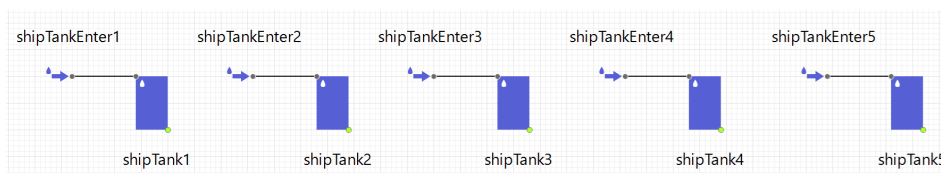
Una vez que el grano llega al silo correcto a través de la cinta, donde cada silo almacena 9000 toneladas de grano (esto es así pues dividimos la capacidad total de la terminal VI: 130000 toneladas métricas entre los 14 silos simulados [San15]):



**Fig. 2.7.:** Lógica de los silos

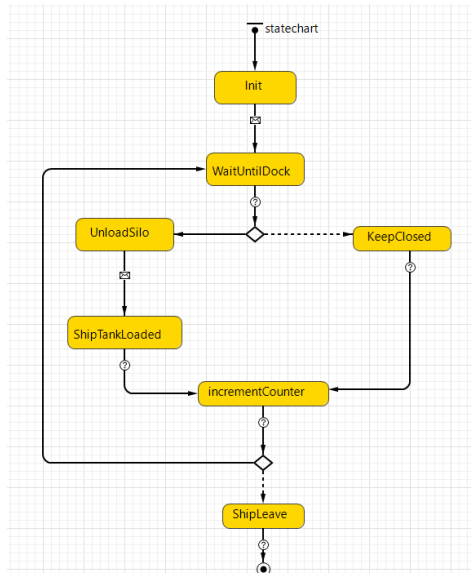
El cúmulo de grano puede ser dirigido al silo por donde está pasando en el momento o seguir hacia alguno posterior en la fila.

- Última actividad del camión: luego de descargar pasa a realizar el pesaje de tara para verificar el peso correcto en neto del cereal (diferencia entre el pesaje inicial y éste), teniendo una demora aleatoria que sigue la misma distribución que en el pesaje en bruto. Después, el agente emprende la vuelta por Ayolas y finalmente retoma Circunvalación.
- En paralelo a todo esto sucede la evaluación de stock periódica que se realiza sobre los silos para determinar si se producirá el arribo de un barco o no. El barco solo atraca si está verificado que el puerto puede cumplir toda su demanda. Esta evaluación se realiza cada 3600 segundos de simulación, es decir cada un día en la realidad. Básicamente, se dispara un evento que genera un conjunto de 5 demandas aleatorias en cuanto al tipo de grano, lo cual sigue la misma distribución utilizada para determinar el grano que llevan los camiones en sus tanques y a la vez estática para la cantidad, la cual corresponde a las 6000 toneladas que puede almacenar cada una de las 5 bodegas del barco.

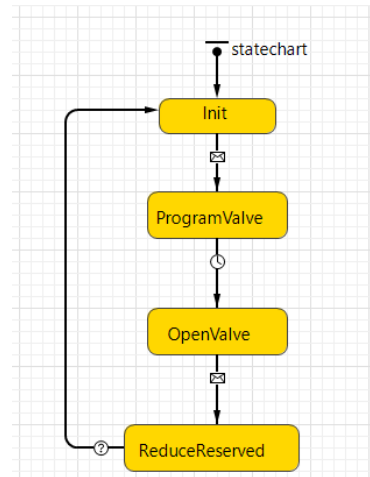


**Fig. 2.8.:** Lógica de las bodegas del barco

Si las demandas generadas pueden ser satisfechas por algún subconjunto de 5 silos, luego de que el barco atraque, se procede a iniciar la secuencia de descarga que se dispara por un diagrama de estados, el cual es invocado al llegar el barco al muelle de descarga:



**Fig. 2.9.:** Secuencia de descarga general



**Fig. 2.10.:** Secuencia de descarga propia de cada silo

Desde el diagrama de descarga general se envía un mensaje al silo a descargar para satisfacer la demanda de alguna de las bodegas, para que dispare su secuencia interna de descarga. Esto permite lograr una precisa coordinación entre los tiempos de descarga, requerido para evitar colisiones y hacer más realista el modelo.

## 2.3 Medidas de rendimiento

Las medidas de rendimiento que consideramos de interés, están agrupadas en 3 categorías:

Nivel de utilización, silos y granos:

- Porcentaje de utilización de ambas balanzas
- Porcentaje de utilización de ambas plataformas de descarga
- Utilización individualizada de los silos
- Carga no asignada (denegación de servicio) por tipo de grano

Medidas de cantidades de agentes en colas y en el sistema:

- Cantidad promedio de camiones en pesaje neto y de tara
- Cantidad total de camiones servidos en el puerto

Medidas de tiempo utilizado en colas y en el sistema:

- Distribución del tiempo promedio de embarque
- Distribución del tiempo de camiones en cola de descarga para ambas plataformas

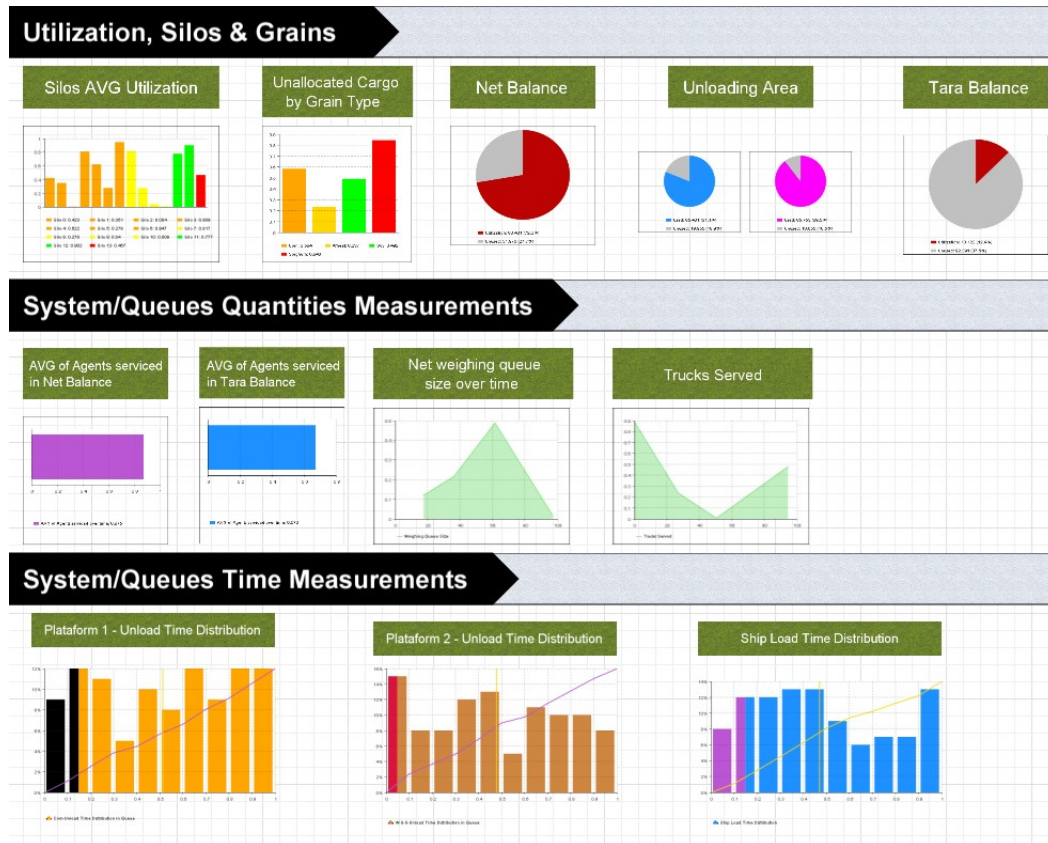


Fig. 2.11.: Estadísticas del modelo

## 2.4 Técnicas aplicadas para recolección de datos

Para la recolección de información se utilizó el experimento de variación de parámetros, utilizando el método de Montecarlo con 1000 iteraciones, donde cada iteración equivale a 3 días reales simulados en nuestra escala 1/24 (es decir un total de 10800 segundos por iteración).

Se trabajó en esta sección sobre 3 medidas de rendimiento específicas, seleccionadas de la lista anterior:

1. Tiempo promedio de embarque de granos
2. Tiempo promedio en cola para descarga de maíz
3. Tiempo promedio en cola para descarga de trigo, soja o sorgo

Se crearon datasets para cada una de éstas, los que son actualizados después de cada iteración finalizada. Cada iteración puede ser corrida en paralelo según la cantidad de hilos con los que cuente la maquina que ejecuta el experimento.

A cada dataset se le asoció un histograma, en el cual se muestra la probabilidad puntal de cada intervalo (PDF) y además la curva de la función de densidad de probabilidad acumulada (CDF). Además, en el caso del tiempo promedio de embarque recortamos los valores en estudio, ya que dificultaban la visualización de los resultados en la gráficas.

## 2.5 Modelo alternativo realizado

Se propone para el estudio que el cambio a realizar puede ser aumentar el ratio de descarga de los silos (a partir de la compra de mejores cintas transportadoras) y analizar si ha de disminuir el tiempo de embarque de granos y su influencia en las otras medidas de rendimiento seleccionadas.

Se plantearon 2 escenarios, en los cuales entonces se variará el parámetro del ratio de circulación del grano por la cinta que descarga al barco:

1. Escenario Original: cuenta con los valores instanciados de la realidad [San15] ajustados a la escala de simulación expuesta anteriormente. Con un ratio simulado de  $17 \frac{\text{toneladas}}{\text{segundo}}$ , que se condicen con el ratio real de  $2500 \frac{\text{toneladas}}{\text{hora}}$ , más precisamente  $0.70 \frac{\text{toneladas}}{\text{segundo}}$ .
2. Escenario Alternativo: mantiene toda la configuración del escenario anterior excepto por el parámetro a variar, que se aumentó en un 270%. Lo cual sería plausible si se actualizaran las cintas transportadoras actuales que fueron compradas alrededor de 1950, llegando a un ratio de circulación simulado de  $63 \frac{\text{toneladas}}{\text{segundo}}$ , que equivalen a  $9.262,5 \frac{\text{toneladas}}{\text{hora}}$ , es decir  $2.6 \frac{\text{toneladas}}{\text{segundo}}$  en la realidad.

## Resultados

### 3.1 Tiempo de embarque de granos

#### 3.1.1 Resultados modelo original

$X$  es una variable aleatoria que corresponde al tiempo promedio necesario en cada corrida de la simulación del modelo original, para realizar el embarque de granos a lo largo de 3 días reales (10800 segundos simulados en escala).

Con una muestra de tamaño  $n_x = 1000$  donde cada elemento es una iteración del modelo completo, obtuvimos una distribución aproximadamente normal con media muestral  $\bar{X}$  y desvío  $S_x$  como se muestra a continuación:

$$\bar{X} = 2295.908 \text{ segundos}$$

$$S_x = 366.715 \text{ segundos}$$

Para calcular el intervalo de confianza para la media poblacional  $\mu$  a estimar, expresamos con distribución de T-Student [Rey17] con  $n_x - 1$  grados de libertad, y un valor crítico  $t_{\alpha/2}$ .

Tomando  $\alpha = 5\%$ , el valor crítico  $t_{0.05/2}$  para 999 grados de libertad es 1.9623, calculamos el intervalo de confianza:

$$\bar{X} - t_{0.05/2} \cdot \frac{S_x}{\sqrt{1000}} < \mu < \bar{X} + t_{0.05/2} \cdot \frac{S_x}{\sqrt{1000}}$$

$$2295.908 - 1.9623 \cdot \frac{366.715}{\sqrt{1000}} < \mu < 2295.908 + 1.9623 \cdot \frac{366.715}{\sqrt{1000}} \implies 2273.15 < \mu < 2318.66$$

Por lo tanto, el intervalo es (2273.15; 2318.66) en unidades “segundos de simulación”.

### 3.1.2 Resultados modelo alternativo

$Y$  es una variable aleatoria que corresponde al tiempo promedio necesario en cada corrida de la simulación del modelo alternativo, para realizar el embarque de granos a lo largo de 3 días reales (10800 segundos simulados en escala).

Con una muestra de tamaño  $n_y = 1000$  donde cada elemento es una iteración del modelo completo, obtuvimos una distribución aproximadamente normal con media muestral  $\bar{Y}$  y desvío  $S_y$  como se muestra a continuación:

$$\bar{Y} = 1105.13 \text{ segundos}$$

$$S_y = 343.511 \text{ segundos}$$

Para calcular el intervalo de confianza para la media poblacional  $\mu$  a estimar, expresamos con distribución de T-Student [Rey17] con  $n_y - 1$  grados de libertad, y un valor crítico  $t_{\alpha/2}$ .

Tomando  $\alpha = 5\%$ , el valor crítico  $t_{0.05/2}$  para 999 grados de libertad es 1.9623, calculamos el intervalo de confianza:

$$\bar{Y} - t_{0.05/2} \cdot \frac{S_y}{\sqrt{1000}} < \mu < \bar{Y} + t_{0.05/2} \cdot \frac{S_y}{\sqrt{1000}}$$

$$1105.13 - 1.9623 \cdot \frac{343.511}{\sqrt{1000}} < \mu < 1105.13 + 1.9623 \cdot \frac{343.511}{\sqrt{1000}} \implies 1083.84 < \mu < 1126.42$$

Por lo tanto, el intervalo es (1083.84; 1126.42) en unidades “segundos de simulación”.

### 3.1.3 Comparación: Intervalos de confianza

[Dar18] Como se puede observar, entre los intervalos de confianza del escenario original (2273.15; 2318.66) y del alternativo (1083.84; 1126.42) no existe intersección, por lo que podemos afirmar con un 95% de confianza que el escenario alternativo disminuye el tiempo medio de embarque, y se procederá a verificar tal afirmación con un Test de Medias.

### 3.1.4 Comparación: Test de medias

[UNL20]

Con un desvío típico  $S_p$  tomado a partir de ambos desvíos correspondientes:

$$S_p^2 = \frac{(n_x-1) \cdot s_x^2 + (n_y-1) \cdot s_y^2}{n_x + n_y - 2} = \frac{(1000-1) \cdot 366.715^2 + (1000-1) \cdot 343.511^2}{1000+1000-2} = 126239.8491 \text{ segundos}^2$$

$$S_p = \sqrt{S_p^2} = \sqrt{126239.8491} = 355.30247 \text{ segundos}$$

Calculamos el estadístico de prueba  $T$ :

$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S_p \cdot \sqrt{\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y}}} = \frac{2295.908 - 1105.13}{355.30247 \cdot \sqrt{\frac{1}{1000} + \frac{1}{1000}}} = 214.04163$$

Que bajo la Hipótesis Nula tiene distribución de Student con  $n_x + n_y - 2$  grados de libertad, y un valor crítico  $t_{\alpha/2}$ .

El valor crítico  $t_{0.05/2}$  para 1998 grados de libertad es 1.9612 [Wee20].

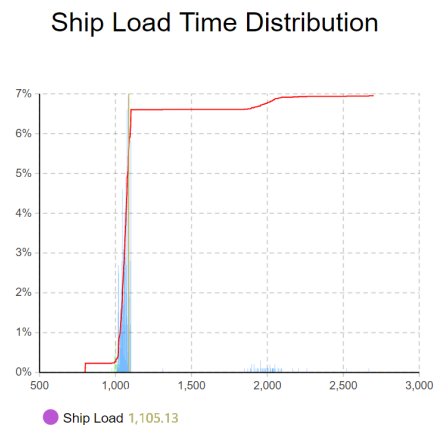
La hipótesis nula será válida si y solo si  $T > t_{\alpha/2}$ .

Como  $214.04163 > 1.9612$  la hipótesis nula es válida, y el test de medias es superado correctamente, confirmando que el tiempo de embarque efectivamente disminuye con el escenario alternativo.

### 3.1.5 Comparación: Gráficas



**Fig. 3.1.:** Tiempo promedio de embarque de granos (Original)



**Fig. 3.2.:** Tiempo promedio de embarque de granos (Alternativo)

Si bien los datos se visualizan un poco comprimidos para mantener el eje X equiva-



correspondiente al promedio de demora para embarcar el grano, al ser tomada de más de 1000 muestras, se comporta aproximadamente normal, cumpliéndose el Teorema Central del Límite.

## 3.2 Tiempo promedio en cola para descarga de maíz

### 3.2.1 Resultados modelo original

$X$  es una variable aleatoria que corresponde al tiempo promedio en cada corrida de la simulación del modelo original, que ocupa un camión en cola para para descargar maíz a lo largo de 3 días reales (10800 segundos simulados en escala).

Con una muestra de tamaño  $n_x = 1000$  donde cada elemento es una iteración del modelo completo, obtuvimos una distribución aproximadamente normal con media muestral  $\bar{X}$  y desvío  $S_x$  como se muestra a continuación:

$$\bar{X} = 12.969 \text{ segundos}$$

$$S_x = 1.594 \text{ segundos}$$

Para calcular el intervalo de confianza para la media poblacional  $\mu$  a estimar, expresamos con distribución de T-Student [Rey17] con  $n_x - 1$  grados de libertad, y un valor crítico  $t_{\alpha/2}$ .

Tomando  $\alpha = 5\%$ , el valor crítico  $t_{0.05/2}$  para 999 grados de libertad es 1.9623, calculamos el intervalo de confianza:

$$\bar{X} - t_{0.05/2} \cdot \frac{S_x}{\sqrt{1000}} < \mu < \bar{X} + t_{0.05/2} \cdot \frac{S_x}{\sqrt{1000}}$$

$$12.969 - 1.9623 \cdot \frac{1.594}{\sqrt{1000}} < \mu < 12.969 + 1.9623 \cdot \frac{1.594}{\sqrt{1000}} \implies 12.87 < \mu < 13.07$$

Por lo tanto, el intervalo es (12.87, 13.07) en unidades “segundos de simulación”.

### 3.2.2 Resultados modelo alternativo

$Y$  es una variable aleatoria que corresponde al tiempo promedio en cada corrida de la simulación del modelo alternativo, que ocupa un camión en cola para para descargar maíz a lo largo de 3 días reales (10800 segundos simulados en escala).

Con una muestra de tamaño  $n_y = 1000$  donde cada elemento es una iteración del modelo completo, obtuvimos una distribución aproximadamente normal con media muestral  $\bar{Y}$  y desvío  $S_y$  como se muestra a continuación:

$$\bar{Y} = 13.005 \text{ segundos}$$

$$S_y = 1.573 \text{ segundos}$$

Para calcular el intervalo de confianza para la media poblacional  $\mu$  a estimar, expresamos con distribución de T-Student [Rey17] con  $n_y - 1$  grados de libertad, y un valor crítico  $t_{\alpha/2}$ .

Tomando  $\alpha = 5\%$ , el valor crítico  $t_{0.05/2}$  para 999 grados de libertad es 1.9623, calculamos el intervalo de confianza:

$$\bar{Y} - t_{0.05/2} \cdot \frac{S_y}{\sqrt{1000}} < \mu < \bar{Y} + t_{0.05/2} \cdot \frac{S_y}{\sqrt{1000}}$$

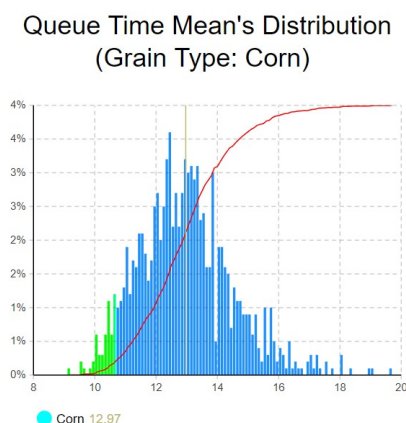
$$13.005 - 1.9623 \cdot \frac{1.573}{\sqrt{1000}} < \mu < 13.005 + 1.9623 \cdot \frac{1.573}{\sqrt{1000}} \implies 12.91 < \mu < 13.10$$

Por lo tanto, el intervalo es (12.91, 13.10) en unidades “segundos de simulación”.

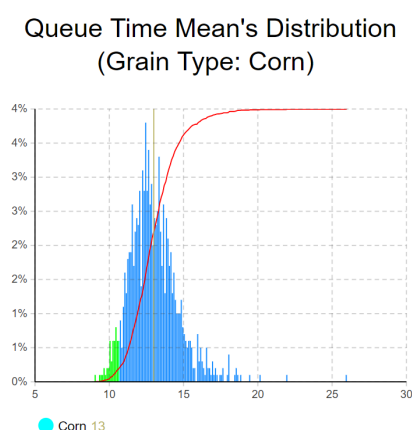
### 3.2.3 Comparación: Intervalos de confianza

Se visualiza que entre los intervalos de confianza del escenario (12.87; 13.03) y del alternativo (12.91; 13.10) existe una intersección, por lo que NO podemos afirmar con un 95% de confianza que en el escenario alternativo disminuye o aumenta el tiempo promedio en cola para descarga de maíz. Por lo tanto, no se realiza el test de medias.

### 3.2.4 Comparación: Gráficas



**Fig. 3.3.:** Tiempo promedio en cola para descarga de maíz (Original)



**Fig. 3.4.:** Tiempo promedio en cola para descarga de maíz (Alternativo)

Se puede notar que la distribución de la variable aleatoria correspondiente al promedio de demoras en cola para descargar maíz, al ser tomada de más de 1000 muestras, se comporta aproximadamente normal, cumpliéndose el Teorema Central del Límite.

## 3.3 Tiempo promedio en cola para descarga de trigo, soja y sorgo

### 3.3.1 Resultados modelo original

$X$  es una variable aleatoria que corresponde al tiempo promedio en cada corrida de la simulación del modelo original, que ocupa un camión en cola para para descargar trigo, soja y sorgo a lo largo de 3 días reales (10800 segundos simulados en escala).

Con una muestra de tamaño  $n_x = 1000$  donde cada elemento es una iteración del modelo completo, obtuvimos una distribución aproximadamente normal con media muestral  $\bar{X}$  y desvío  $S_x$  como se muestra a continuación:

$$\bar{X} = 11.072 \text{ segundos}$$

$$S_x = 1.253 \text{ segundos}$$

Para calcular el intervalo de confianza para la media poblacional  $\mu$  a estimar, expresamos con distribución de T-Student [Rey17] con  $n_x - 1$  grados de libertad, y un valor crítico  $t_{\alpha/2}$ .

Tomando  $\alpha = 5\%$ , el valor crítico  $t_{0.05/2}$  para 999 grados de libertad es 1.9623, calculamos el intervalo de confianza:

$$\bar{X} - t_{0.05/2} \cdot \frac{S_x}{\sqrt{1000}} < \mu < \bar{X} + t_{0.05/2} \cdot \frac{S_x}{\sqrt{1000}}$$

$$11.072 - 1.9623 \cdot \frac{1.253}{\sqrt{1000}} < \mu < 11.072 + 1.9623 \cdot \frac{1.253}{\sqrt{1000}} \implies 10.99 < \mu < 11.15$$

Por lo tanto, el intervalo es (10.99; 11.15) en unidades “segundos de simulación”.

### 3.3.2 Resultados modelo alternativo

$Y$  es una variable aleatoria que corresponde al tiempo promedio en cada corrida de la simulación del modelo alternativo, que ocupa un camión en cola para para descargar trigo, soja y sorgo a lo largo de 3 días reales (10800 segundos simulados en escala).

Con una muestra de tamaño  $n_y = 1000$  donde cada elemento es una iteración del modelo completo, obtuvimos una distribución aproximadamente normal con media muestral  $\bar{Y}$  y desvío  $S_y$  como se muestra a continuación:

$$\bar{Y} = 11.389 \text{ segundos}$$

$$S_y = 1.304 \text{ segundos}$$

Para calcular el intervalo de confianza para la media poblacional  $\mu$  a estimar, expresamos con distribución de T-Student [Rey17] con  $n_y - 1$  grados de libertad, y un valor crítico  $t_{\alpha/2}$ .

Tomando  $\alpha = 5\%$ , el valor crítico  $t_{0.05/2}$  para 999 grados de libertad es 1.9623, calculamos el intervalo de confianza:

$$\bar{Y} - t_{0.05/2} \cdot \frac{S_y}{\sqrt{1000}} < \mu < \bar{Y} + t_{0.05/2} \cdot \frac{S_y}{\sqrt{1000}}$$

$$11.389 - 1.9623 \cdot \frac{1.304}{\sqrt{1000}} < \mu < 11.389 + 1.9623 \cdot \frac{1.304}{\sqrt{1000}} \implies 11.31 < \mu < 11.47$$

Por lo tanto, el intervalo es (11.31; 11.47) en unidades “segundos de simulación”.

### 3.3.3 Comparación: Intervalos de confianza

Como se puede notar, entre los intervalos de confianza del escenario original (10.99; 11.15) y del alternativo (11.31; 11.47) no existe una intersección, por lo que podemos afirmar con un 95% de confianza que en el escenario alternativo aumenta el tiempo promedio en cola para descarga de trigo, soja o sorgo.

### 3.3.4 Comparación: Test de medias

[UNL20]

Con un desvío típico  $S_p$  tomado a partir de ambos desvíos correspondientes:

$$S_p^2 = \frac{(n_x-1) \cdot s_x^2 + (n_y-1) \cdot s_y^2}{n_x + n_y - 2} = \frac{(1000-1) \cdot 1.253^2 + (1000-1) \cdot 1.304^2}{1000+1000-2} = 1.6352125 \text{ segundos}^2$$

$$S_p = \sqrt{S_p^2} = \sqrt{1.6352125} = 1.27875 \text{ segundos}$$

Calculamos el estadístico de prueba  $T$ :

$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S_p \cdot \sqrt{\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y}}} = \frac{11.072 - 11.389}{1.27875 \cdot \sqrt{\frac{1}{1000} + \frac{1}{1000}}} = 392.76108$$

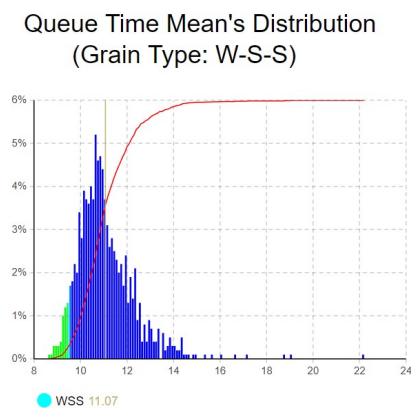
Que bajo la Hipótesis Nula tiene distribución de Student con  $n_x + n_y - 2$  grados de libertad, y un valor crítico  $t_{\alpha/2}$ .

El valor crítico  $t_{0.05/2}$  para 1998 grados de libertad es 1.9612 [Wee20].

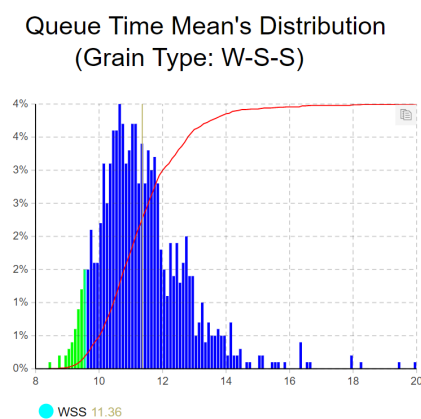
La hipótesis nula será válida si y solo si  $T > t_{\alpha/2}$ .

Como  $392.76108 > 1.9612$  la hipótesis nula es válida, y el test de medias es superado correctamente, confirmando que el tiempo en cola para descargar trigo, soja y sorgo efectivamente aumenta con el escenario alternativo.

### 3.3.5 Comparación: Gráficas



**Fig. 3.5.:** Tiempo promedio en cola para descarga de trigo, soja o sorgo (Original)



**Fig. 3.6.:** Tiempo promedio en cola para descarga de trigo, soja o sorgo (Alternativo)

Es visible que la distribución de la variable aleatoria correspondiente al promedio de demoras en cola para descargar trigo, soja o sorgo, al ser tomada de más de 1000 muestras, se comporta aproximadamente normal, cumpliéndose el Teorema Central del Límite.

## Discusión

### 4.1 Interpretación de los resultados

Como se ve en la sección de resultados, se puede afirmar con validez estadística (nivel de confianza del 95%) que el escenario alternativo es mejor que el escenario original en cuanto a tiempos de embarque. Esto también se confirma por el test de medias realizado. Tomando todo esto en cuenta, los barcos serán cargados con grano mas rápido efectivamente, cumpliendo la hipótesis inicial sobre la mejora en la cinta y avalando la compra de un modelo moderno. Finalmente, con esto se lograría la ventaja competitiva que busca el puerto.

Como aproximación, si tomamos la media del tiempo de embarque promedio en el escenario original, nos da que los barcos son cargados en 2295.908 segundos de simulación lo que equivale en escala a 55101.792 segundos, es decir 15.31 horas en la realidad. De la misma manera analizamos esta medida de rendimiento en el escenario alternativo, que pasaría a ser aproximadamente 1105.13 segundos de simulación osea 7.67 horas reales. Es decir, hay una mejora del 50%.

En cuanto a los tiempos promedio en cola para descarga de maíz, su intervalo de confianza para el escenario original y el alternativo se solapan, por lo que no se puede afirmar con validez estadística (nivel de confianza del 95%) que el escenario alternativo mejore, es decir que aumente el tiempo promedio. Por lo tanto, la hipótesis de que estos tiempos aumentarían estaba errada para este caso, lo cual es positivo para el puerto al no tener que manejar filas mayores a las acostumbradas y evitar quejas por parte de los camioneros.

En cambio para el tiempo en cola para descargar los demás tipos de grano no hay ningún solapamiento entre los intervalos de confianza para el escenario original y el alternativo, por lo que se puede afirmar con un 95% de confianza que el último aumenta el tiempo y por lo tanto cumple la hipótesis inicial. Cabe aclarar, que el incremento en el tiempo es muy pequeño, menor a 0.5 segundos de simulación; es decir menor a 12 segundos en la realidad.

## 4.2 Implicaciones económicas

Considerando la estimación anterior, un barco se descarga en 15.31 horas, tenemos el siguiente análisis para determinar el beneficio económico del puerto.

Si tomamos la cotización actual de cada grano incluido en el modelo al 30 de octubre de 2020 [Agr20] en el caso del Sorgo y al 8 de noviembre de 2020 para el resto de los cereales:

1. Maíz:  $190 \frac{USD}{tonelada}$

2. Trigo:  $210 \frac{USD}{tonelada}$

3. Soja:  $332 \frac{USD}{tonelada}$

4. Sorgo:  $200 \frac{USD}{tonelada}$

Haciendo un promedio entre el valor de los granos queda:

$$\frac{190+210+332+200}{4} = 233 \frac{USD}{tonelada}$$

Un barco de tipo Handymax lleva 30000 toneladas, por que el valor de su carga sería de 6.990.000 USD. Entonces, suponiendo que del valor de esa carga el puerto se queda con el 0.25% por prestar su servicio, el beneficio por procesar el barco es de 17475 USD.

Actualmente, si se suma las 15.31 horas para cargar un barco a ciertos factores externos como el tiempo de viaje en el Río Paraná y la demanda en la temporada, lo que agrega unas 8.69 hs, se tiene que un barco llega cada 24 hs.

Por lo que al disminuir el tiempo para cargar el barco a 7.67 horas, tomando el mismo agregado de tiempo por factores externos de 8.69 horas, que los barcos podrían llegar cada 16.36 hs.

Finalmente con el escenario original, el puerto gana 17475 USD en un día y con el alternativo este monto pasaría a ser de  $17475 USD + 5592USD = 23067 USD$  por día. Es decir, habría un incremento de los ingresos en un 32%, haciendo razonable la inversión para llevar a la realidad nuestra propuesta.



## 4.3 Limitaciones

La asignación dinámica de silos para cada camión que llega a descargar queda fuera del alcance de este trabajo, dado que hacía más compleja la programación de la simulación y además es posible aproximar la disposición de los silos por tipo de grano según la temporada que se elija para la simulación.

Si no se hubiera utilizado la escala de tiempos planteada, la simulación sería muy demandante en cuanto a tiempo de computación y no se podrían mantener los períodos estudiados actualmente, a menos que se cuente con mejores equipos o mayor tiempo para investigación en este área.

## 4.4 Recomendaciones futuras

Queda como una posible extensión el uso de un sistema de órdenes completo que represente demandas de granos, las cuales sean enviadas desde los camiones a los silos hasta llegar a los buques. Esto permitiría agregarle aún más realismo al modelo, pero a su vez aumentaría considerablemente la complejidad de programación.

Durante las sucesivas ejecuciones del modelo se observó que se forma un cuello de botella en la primera balanza (en bruto) al momento de ingresar al puerto, por lo que se consideró aumentar la cantidad de balanzas. Sin embargo esto traería consigo que la fila se traslade a la zona de descarga, por lo que es posible que mejore los tiempos que pasa el camión en el puerto pero a su vez se aumentaría el tiempo en cola para descargar, por lo que este estudio queda como una posible extensión a este trabajo.

Otro análisis de interés a realizar a futuro sería la de evaluar el impacto que traería la construcción de nuevos silos en el puerto (mayor capacidad total) con respecto a medidas de rendimiento de denegación de servicio (por camión/cliente y por cantidad de carga no asignada según tipo de grano).

## Conclusiones

A través de utilizar una serie de evaluaciones y consideraciones estadísticas, como la recolección de los promedios en cada iteración para cada medida de rendimiento, la utilización de varias corridas en paralelo, construcción de intervalos de confianza, su posterior comparación y por último el cálculo del test de medias, sobre los resultados de este modelo de simulación de eventos discretos se puede afirmar con un 95% de confianza que la hipótesis de que se podrán cargar más barcos en menos tiempo al utilizar cintas transportadoras modernas en la sección de descarga de los silos es cierta.

Complementariamente, se demostró que realizar correctamente las mejoras propuestas presenta una ganancia considerable para el puerto, por lo que la inversión resulta justificada.

Además, la otra hipótesis con que se contaba sobre los tiempos en cola para descarga de maíz resultó inválida según las pruebas estadísticas mencionadas, lo cual resulta ser positivo al no generar mayores colas y evitar quejas por partes de los camioneros. Por otro lado, sí resultó cierta para la descarga de los demás tipos de granos, pero por un margen muy pequeño, menor a 12 segundos reales.

# Bibliografía

- [Agr20] Agrofy, Inc. *Precios por tonelada según tipo de grano*. 2020. URL: <https://news.agrofy.com.ar/granos> (vid. pág. 24).
- [Dar18] Darío Weitz. *Apunte de cátedra - Simulación*. 2018 (vid. págs. 2, 3, 15).
- [Nic20] Nicolás Antonelli, Alejandro Recalde, Joshua Acciarri. *Repositorio en GitHub*. 2020. URL: <https://github.com/team120/TPI-Docking-Services-Simulation> (vid. pág. 29).
- [Rey17] Rey Molina, Zaira Castillo. *Intervalo de confianza para la media, varianza desconocida*. 2017. URL: [http://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/308667\\_7cffe2c4ce4f4900ad53a12c1a5a0732.html](http://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/308667_7cffe2c4ce4f4900ad53a12c1a5a0732.html) (vid. págs. 14, 15, 17, 18, 20).
- [Rur20] RuralNet. *Nodos Portuarios Que Más Despacharon Granos En Argentina 2019, Demanda en general*. 2020. URL: <https://ruralnet.com.ar/en-2019-fue-record-el-embarque-de-granos-en-argentina-crece-un-50-respecto-del-ano-anterior/> (vid. pág. 4).
- [Rur19] RuralNet. *Terminales Portuarias Que Más Despacharon Granos En Argentina 2018, Demandas por tipo de grano*. 2019. URL: <https://ruralnet.com.ar/en-2018-las-tres-terminales-portuarias-que-mas-despacharon-granos-en-argentina-pertenecen-a-la-zona-sur-del-gran-rosario/> (vid. pág. 6).
- [San15] Santa Fe Gob. *Capacidad de los silos y ratio de descarga actual*. 2015. URL: [https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/download/231097/1208342/version/2/file/Puerto\\_Rosario.pdf](https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/download/231097/1208342/version/2/file/Puerto_Rosario.pdf) (vid. págs. 10, 13).
- [Ser20] Servicios Portuarios SA. *Web Oficial de Servicios Portuarios*. 2020. URL: <https://serviciosportuarios.com.ar> (vid. pág. 4).
- [The20] The Anylogic Company. *Pagina oficial de Anylogic*. 2020. URL: <https://www.anylogic.com/> (vid. pág. 29).
- [UNL20] UNLP - Departamento de Matemáticas. *Explicación Test de Medias*. 2020 (vid. págs. 16, 21).
- [Wee20] Weebly. *Valor crítico para distribución T de Student*. 2020. URL: <http://www.ttable.org/student-t-value-calculator.html> (vid. págs. 16, 21).
- [Wik20a] Wikipedia ES. *Modelo Físico*. 2020. URL: [https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_f%C3%ADsico](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_f%C3%ADsico) (vid. pág. 1).
- [Wik20b] Wikipedia ES. *Modelo Matemático*. 2020. URL: [https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_matem%C3%A1tico](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_matem%C3%A1tico) (vid. pág. 1).



## Apéndice: Tecnologías y Licencias

### A.1 Repositorio en GitHub

El modelo Arribo de camiones al puerto, almacenamiento y embarque de granos puede ser accedido de forma pública y gratuita, descargado y extendido por quien le sea de interés en nuestro repositorio oficial de GitHub, consultando el enlace en Bibliografía [Nic20].

### A.2 Licencia AnyLogic

El modelo de Arribo de camiones al puerto, almacenamiento y embarque de granos fue modelado bajo AnyLogic[The20] en la versión 8.6.0 bajo la licencia gratuita Personal Learning Edition (PLE), brindada por The AnyLogic Company®. Se utilizó también una licencia Professional de prueba legal con 30 días de expiración.

