

# Estudio de tiempos de clasificación en equipos Put-to-Light y segmentación de productividad de operarios: un enfoque basado en pruebas no paramétricas



UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA

Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Industrial

Practicante: Andrés Esteban Marín Manco

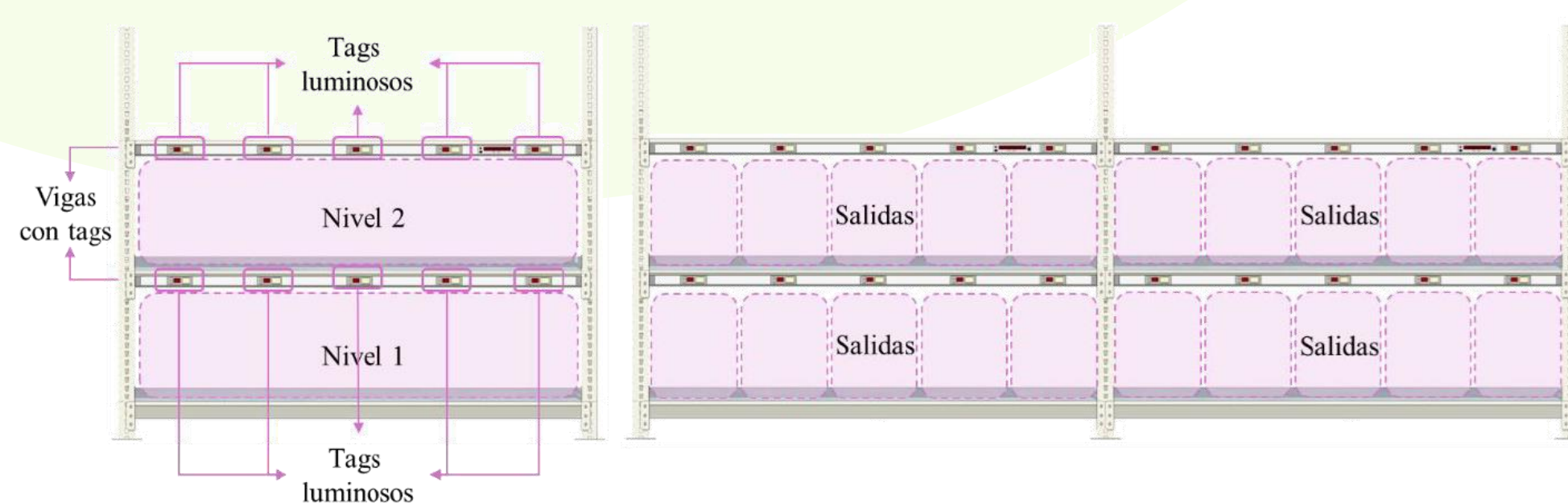
Asesores: Juan G. Villegas, Ph.D.; Angie P. Vargas, M.Eng (c)

Programa: Ingeniería Industrial

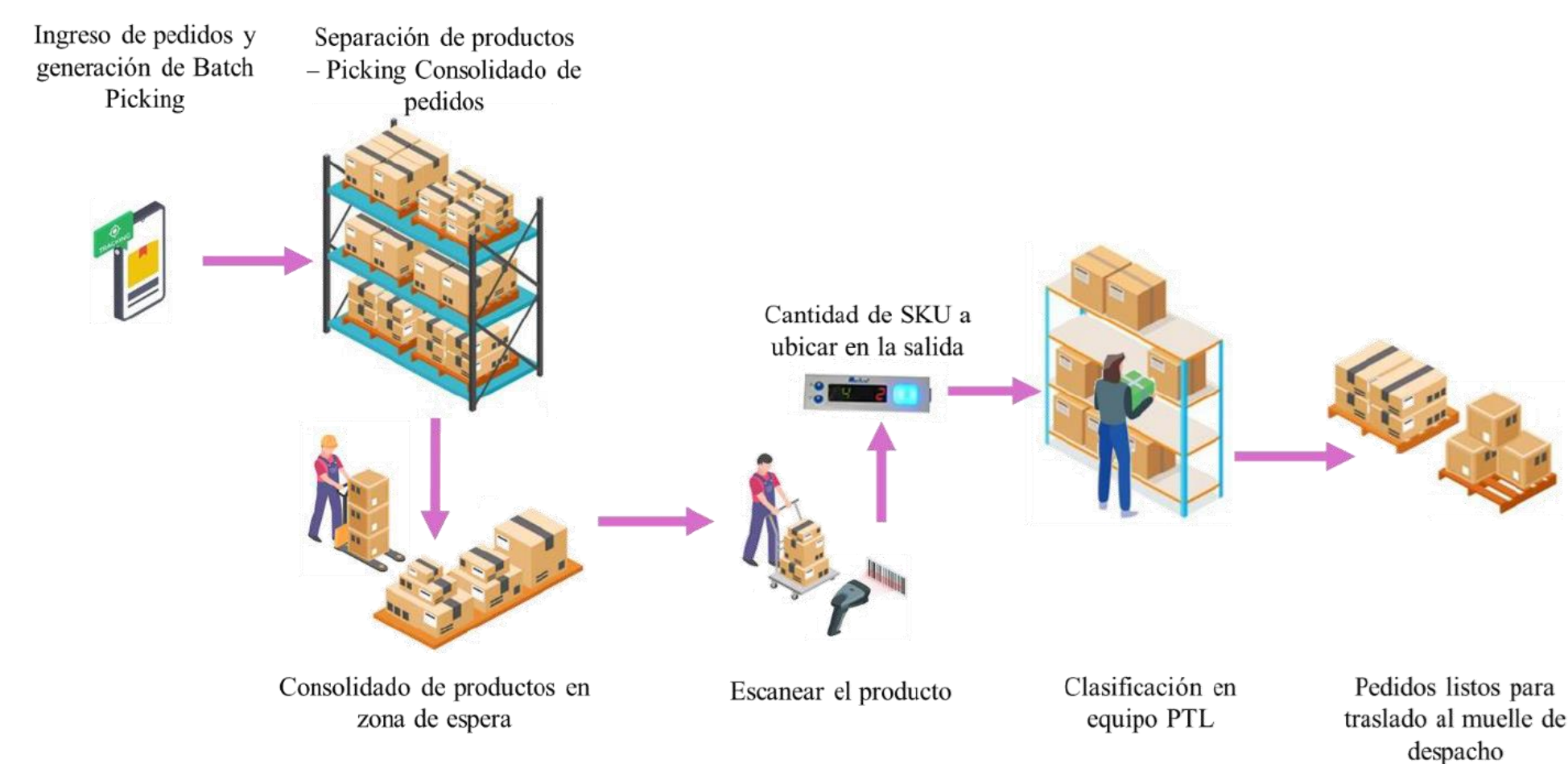
Modalidad De Práctica: Trabajo de grado

Los sistemas Put-to-Light (PTL) optimizan la clasificación de productos guiando a los operarios mediante luces sin embargo su eficiencia se ve afectada por diversos factores.

**Figura 1**  
Partes de un equipo PTL. (a) Zona con un solo módulo de estantería. (b) Zona con dos módulos de estantería.



**Figura 2**  
Proceso de operación del equipo PTL.



## Objetivo

Clasificar a los operarios en función de su productividad en las tareas de *sorting* dentro de los sistemas PTL identificando los factores que afectan su rendimiento y proporcionando recomendaciones para optimizar su eficiencia operativa.

## Metodología

Se siguió el modelo CRISP-DM.

Se utilizaron datos de 6,96 millones de transacciones del sistema PTL recolectados durante un año. Fases clave:

1. Adquisición de datos: Datos de operación de equipos PTL entre octubre de 2022 y octubre de 2023.
2. Preparación de los datos: El proceso incluyó la limpieza y conversión tipo de datos. Se crearon tablas auxiliares para optimizar la estructura del *dataset*, y se calculó la métrica `time_sort` para medir el tiempo de clasificación de SKU.

## Referencias

- Al-Radaideh, Q. A., & Al Nagi, E. (2012). Using data mining techniques to build a classification model for predicting employees performance. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 3(2), 144-151. <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2012.030225>
- Boysen, N., Fülller, D., & Stephan, K. (2020). See the light: Optimization of put-to-light order picking systems. *Naval Research Logistics*, 67(1), 3-20. <https://doi.org/10.1002/nav.21883>

**Tabla 1**  
Algoritmo para cálculo de `time_sort`.

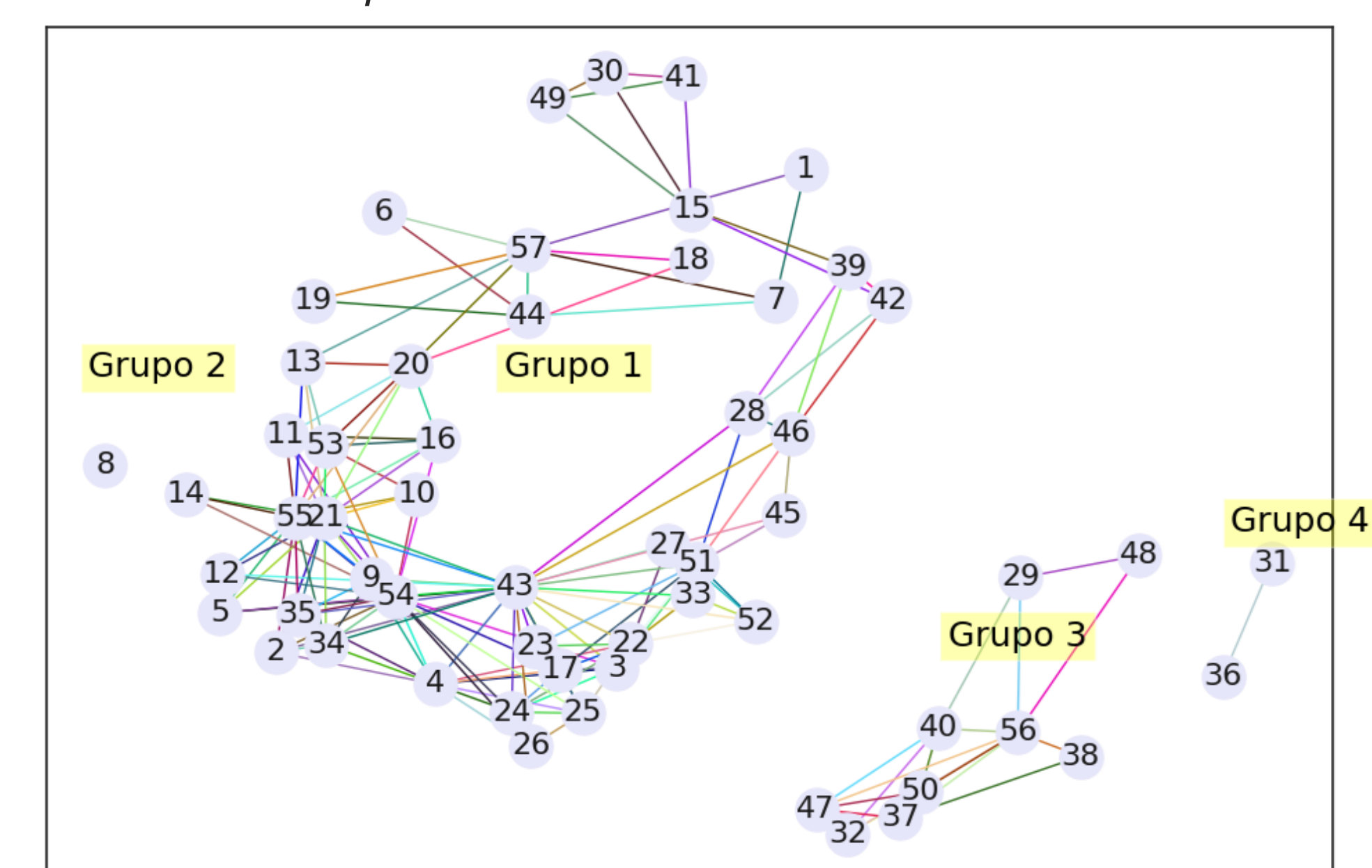
```
1 Inicio
2 Cargar tablas Transacciones, Lotes
3 Calcular Intersección en el NoOlas entre ambas tablas
4 Generar clave única {NoOla, Zona, IdTrabajador, SKU}
5 Ordenar Lotes por FechaConfirmaciónSKU Ascendente
6 Ordenar Transacciones por FechaLectura Ascendente
7 Unir FechaLectura de Lotes con Transacciones Como MergeDate
8 Si MergeDate <> Vacío:
9 Calcular  $time\_sort = FechaConfirmaciónSKU - FechaLectura$ 
10 Sino
11 Calcular  $time\_sort = FechaConfirmaciónSKU_i - FechaConfirmaciónSKU_{i-1}$ 
12 Fin Si
13 Validar No haya registros duplicados
14 Validar No haya valores negativos en time_sort
15 Exportar "data_joined.csv"
16 Fin
```

3. Cálculo de `time_sort_per_sku`.
4. Análisis exploratorio: Evaluación de las variables clave, como el tiempo de clasificación y las cantidades procesadas.
5. Pruebas estadísticas no paramétricas y grafos de similitud: Para identificar diferencias significativas entre grupos de operarios y tipos de equipos PTL.

## Resultados

### Clasificación de Operarios

**Figura 3**  
Grafo de clasificación de operarios según su tiempo promedio de clasificación por SKU.



**Tabla 2**  
Métricas de desempeño de cada una de las categorías de operarios por productividad.

Grupo	Tiempo	Tiempo	Tiempo	Confirmaciones	Cant. Operarios
	min	prom	máx		
advanced	2,7037	2,7037	2,7037	178.841	1
standard	3,0483	4,3291	5,5242	5.383.728	45
learning	5,6435	5,6515	5,6595	111.803	2
beginner	6,1824	6,6953	7,3884	107.042	9

### Eficiencia por Zona

Comparación entre equipos PTL Tipo 1 y Tipo 0: Se realizó la prueba Kruskal-Wallis para comparar los tiempos de clasificación entre los equipos PTL tipo 1 y tipo 0, mostrando una diferencia significativa. El equipo tipo 1 tuvo un tiempo medio de clasificación 6.2% inferior al equipo tipo 0.

**Figura 4**  
Tiempos medio de clasificación por SKU en cada salida según el tipo de equipo PTL.

S1	S2	S3	S4	S9	S10	S11	S12
4.02	4.40	4.27	4.26	4.67	4.60	4.47	4.31
4.52	4.02	3.88	3.76	4.18	3.98	3.90	3.85

Zona tipo 0: 16 salidas

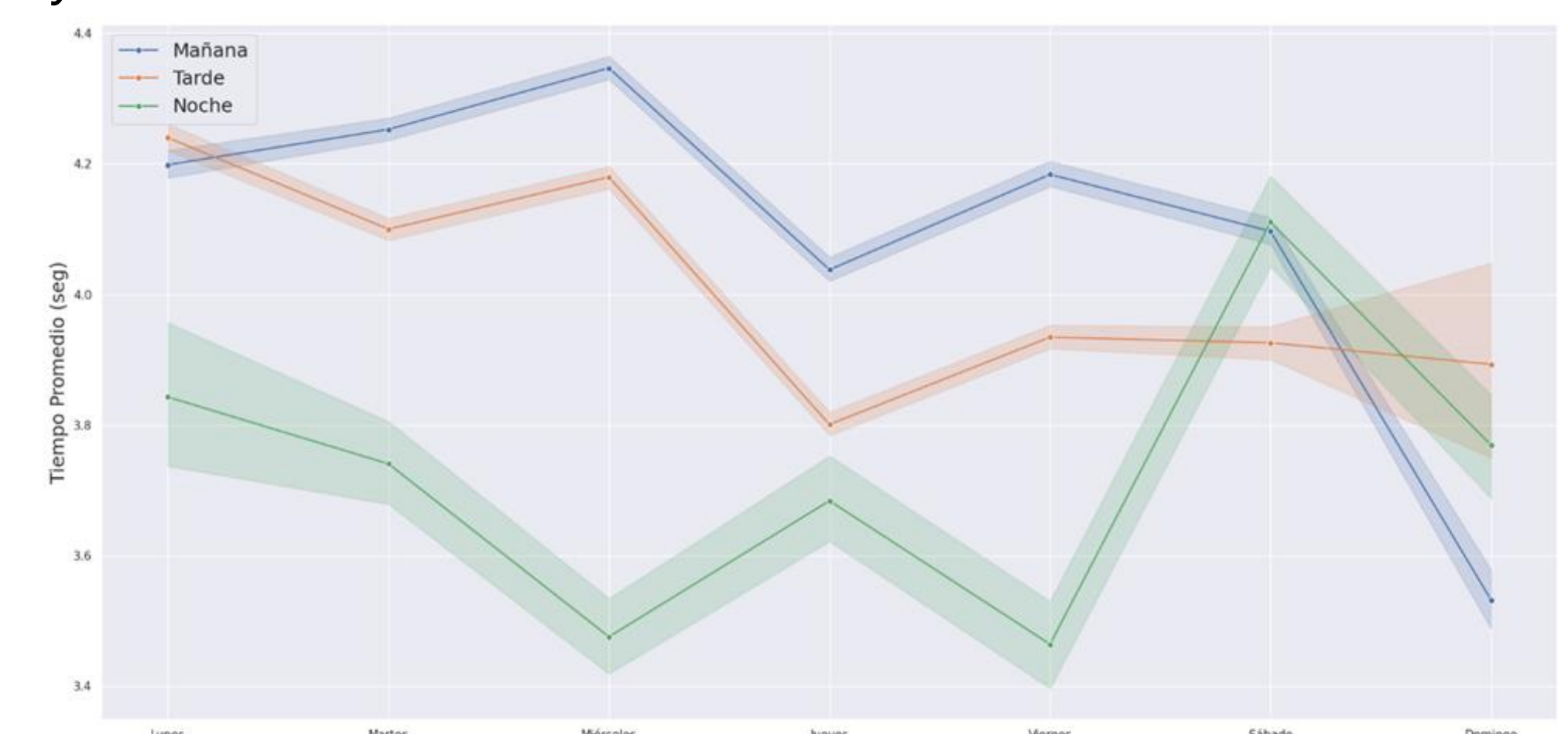
S1	S2	S3	S4	S9	S10	S11	S12	S17	S18	S19	S20
4.17	3.94	3.85	3.89	3.87	3.77	3.73	3.80	4.26	4.19	4.25	4.54
5.5	5.6	5.7	5.8	5.13	5.15	5.16	5.21	5.22	5.23	5.24	5.24
4.22	3.70	3.72	3.63	4.01	3.93	3.90	4.04	3.90	3.85	3.94	4.24

Zona tipo 1: 24 salidas

### Eficiencia por Turno

El turno de noche es el más eficiente en términos de tiempo de clasificación por SKU, con tiempos promedio consistentemente bajos, entre 3.4 y 3.8 segundos, especialmente a mitad de semana.

**Figura 5**  
Comportamiento del tiempo de clasificación por SKU según el turno y día de la semana.



## Conclusiones

- ✓ **Segmentación de Operarios:** Los operarios fueron clasificados en cuatro categorías de productividad.
- ✓ **Factores Temporales:** Los turnos de noche y los días de alta demanda (jueves y viernes) fueron los más eficientes en comparación con otros periodos.
- ✓ **Eficiencia de Equipos PTL:** Se encontraron diferencias significativas en los tiempos de clasificación entre los equipos tipo 1 y tipo 0, con mejor rendimiento en el tipo 1.
- ✓ **Relevancia Práctica:** Aunque hubo diferencias estadísticas entre operarios, entre los equipos y sus salidas, algunas de estas diferencias tuvieron una relevancia práctica limitada.
- ✓ **Limitaciones y Trabajo futuro:** Predecir tiempos de clasificación fue algo que no se logró. Los datos de este trabajo se usarán para alimentar un modelo de optimización de la asignación de la carga de trabajo al sistema.

SOBRE EL PROYECTO



CONTACTO DEL AUTOR:

andres.marin5@udea.edu.co

<https://www.linkedin.com/in/ingaemarin/>

run\_simulation.exe