

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2025,
Volumen 9, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5

OPTIMIZACIÓN DEL PROBLEMA DE BALANCEO DE LÍNEAS DE ENSAMBLE TIPO 1 MEDIANTE EL HEURÍSTICO HÍBRIDO BÚSQUEDA LOCAL Y TABÚ

**ADAPTING LOCAL AND TABU SEARCH TO OPTIMIZE
THE ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM TYPE 1**

Ana Martín Rodríguez López

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Gustavo Erick Anaya Fuentes

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Marco Antonio Montufar Benítez

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Antonio Oswaldo Ortega Reyes

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Lidia Ramírez Quintanilla

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5.19895

Optimización del Problema de Balanceo de Líneas de Ensamble Tipo 1 Mediante el Heurístico Híbrido Búsqueda Local y Tabú

Ana Martín Rodríguez López¹ro362726@uaeh.edu.mx<https://orcid.org/0009-0005-3549-3620>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Gustavo Erick Anaya Fuentesganaya@uaeh.edu.mx<https://orcid.org/0000-0002-3708-6763>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Marco Antonio Montufar Benítezmontufar@uaeh.edu.mx<https://orcid.org/0000-0002-9756-1554>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Antonio Oswaldo Ortega Reyesaortega@uaeh.edu.mx<https://orcid.org/0009-0007-4728-664X>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Lidia Ramírez Quintanillalidia_ramirez@uaeh.edu.mx<https://orcid.org/0009-0006-6270-0469>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

RESUMEN

El Problema de Optimización de Líneas de Ensamble es ampliamente estudiado en los procesos industriales debido a que sus beneficios impactan directamente al rubro económico. Este problema se clasifica de acuerdo con los objetivos perseguidos. En este documento se busca optimizar el Problema de Balanceo de Líneas de Ensamble Tipo 1, lo anterior implica la minimización de las estaciones de trabajo en el problema mencionado manteniendo el tiempo de ciclo constante. Para resolver este problema se propone una modificación al algoritmo metaheurístico de Búsqueda Local con una Búsqueda Tabú, posteriormente comparando los resultados con los de la literatura mediante instancias de bases de datos. Los resultados encontrados demuestran la eficiencia del algoritmo propuesto.

Palabras clave: balanceo, líneas de ensamble, optimización, metaheurísticos

¹ Autor principal.

² Correspondencia: ganaya@uaeh.edu.mx

Adapting Local and Tabu Search to Optimize the Assembly Line Balancing Problem Type 1

ABSTRACT

The Assembly Line Optimization Problem is widely studied in industrial processes due to its direct economic impact. This problem is classified according to its objectives. In this paper, we address the Type 1 Assembly Line Balancing Problem (ALBP-1), which aims to minimize the number of workstations while keeping the cycle time constant. To solve this problem, we propose a modified Local Search metaheuristic incorporating Tabu Search. The results are then compared with those from literature using benchmark database instances. Our findings demonstrate the efficiency of the proposed algorithm.

Keywords: balancing, assembly lines, optimization, metaheuristics

Artículo recibido 25 agosto 2025

Aceptado para publicación: 25 setiembre 2025



INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo, grandes y pequeñas empresas se han adaptado a los requerimientos que el mercado exige con respecto a la demanda de productos, teniendo así que modificar las áreas y métodos de trabajo para generar valor en la producción de bienes y servicios, disminuyendo tiempos de producción (Coletti Romero & Riojas Cañari, 2018). Consideradas como una parte esencial en muchos de los sistemas de producción que utilizan diversas empresas por ser claves para alcanzar productos que satisfacen al cliente, las líneas de ensamble inicialmente estaban pensadas para trabajar y producir un único modelo en grandes cantidades, apto para productos que son considerados de alta demanda y sacando el mejor provecho de los recursos utilizados (Murillo Garcia, Peñaherrera-Larenas, Borja Salinas, & Vanegas, 2018).

Por lo anterior, en la búsqueda por optimizar los recursos el balanceo de líneas de ensamble (Assembly Line Balancing Problem, ALBP), este se ha investigado ampliamente en el ámbito de ingeniería industrial y optimización de procesos. Su principal objetivo consiste en distribuir las tareas de manufactura entre las estaciones de trabajo, cumpliendo con las restricciones de precedencia y optimizando indicadores clave como el número de estaciones, el tiempo de ciclo o el tiempo de inactividad. Entre las variantes más estudiadas se encuentra el Simple Assembly Line Balancing Problem (SALBP), según su enfoque se clasifica en SALBP-1 (minimizar estaciones con un tiempo de ciclo fijo), SALBP-2 (minimizar el tiempo de ciclo con estaciones fijas) y otras variantes más complejas.

Sin embargo, muchas empresas no se enfocan únicamente en la fabricación de productos de un solo modelo, sino que producen una variedad de productos con diferentes modelos. Por ello, la flexibilidad en sus procesos es un aspecto fundamental. Además, el problema simple de balanceo de líneas de ensamble (SALBP, por sus siglas en inglés) se clasifica como un problema NP-Hard, lo que implica que no se conoce ningún algoritmo capaz de resolverlo en tiempo polinomial, a menos que se combine con técnicas heurísticas (Baskar & Xavier M, 2020). En consecuencia, esta investigación tiene el objetivo de realizar una adaptación que integre un algoritmo genético con la heurística de búsqueda local iterada para minimizar el número de estaciones de trabajo en un proceso de ensamble, mediante un enfoque de Balanceo de Líneas de Ensamble en la modalidad de Problema tipo 1.



En la segunda sección se incluyen los antecedentes del problema en cuestión, en la tercera sección se muestra la metodología del algoritmo propuesto, la cuarta sección presenta resultados y discusión.

ANTECEDENTES

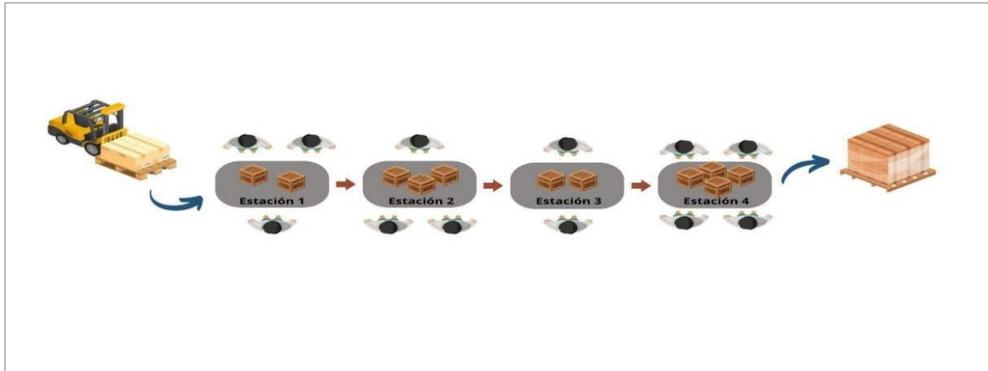
Las líneas de ensamble tienen sus bases alrededor de la década de 1890 con las aportaciones de Frederick W. Taylor, padre de la administración científica, con sus aportaciones donde principalmente se centraba en dividir las actividades en pequeñas tareas, convirtiéndolas en pequeños ciclos de trabajo, por lo tanto, el tiempo que les tomaría aprender a los obreros a realizarlas sería muy poco y rápidamente lo estarían haciendo con excelencia y con poco esfuerzo mental. Contribuyó con las bases de lo que se conoce como el estudio de tiempos y movimientos, esta disciplina se basa en la descomposición de los procesos para analizar cada uno de los movimientos realizados por los obreros y posteriormente determinar cuáles son innecesarios para descartarlos y así obtener lo que Taylor nombraba como “la única mejor forma” de ejecución de tareas del obrero en un tiempo dado o tiempo tipo. No solo Taylor contribuyó al estudio de tiempos y movimientos, Franck B. Gilbreth y Lillian M. Gilbreth también aportó técnicas a este, entre sus aportaciones tenemos a los 17 movimientos en los que cualquier tarea se puede dividir o también conocidos como los Therbligs (González Martínez, 2003). Sin embargo, es hasta la década de 1910 en donde Henry Ford junto con Charles E. Sorenso idean una manera de fabricación que reúne diferentes elementos de un sistema de producción que incluye por supuesto mano de obra, máquinas, procesos y productos para crear un sistema continuo que les permitió crear el automóvil modelo T (Carro Paz & González Gómez, 2013). Esta idea fue basada en las observaciones realizadas cuando visitó los mataderos de Cincinnati y Chicago y observó el uso de la cinta transportadora para el empaquetado de la carne congelada. De esta forma Henry Ford desarrolló el concepto de línea de ensamble coordinada. Poco después muchas empresas comenzaron a copiar el sistema de producción que había desarrollado Ford (Sadurní, 2022). El balanceo de líneas de ensamble surge como una necesidad clave en los sistemas de producción en masa (Possan Junior, Sato Michels, & Magatão, 2023).

La formulación formal del problema, conocida como Simple Assembly Line Balancing Problem (SALBP), fue presentada por primera vez por Salvesson (1955), quien propuso un enfoque matemático para asignar tareas a estaciones respetando restricciones de precedencia, con el objetivo de minimizar



el número de estaciones o el tiempo de ciclo (Kriengkorakot & Pianthong, 2007) como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Estaciones de trabajo en líneas de ensamble



El problema de balanceo de líneas de ensamble (ALBP) está clasificado como un problema NP-Hard, lo que implica que no se ha encontrado un algoritmo capaz de resolverlo en tiempo polinomial. Por tanto, el tiempo requerido para encontrar una solución óptima aumenta exponencialmente a medida que crece el tamaño del problema (Coletti Romero & Riojas Cañari, 2018). Debido a esta complejidad computacional, durante las últimas décadas se han desarrollado numerosos enfoques heurísticos y metaheurísticos como lo son el método de Helgeson-Birnie que nos habla del peso posicional, el método de Kilbridge y Wester sobre el número de predecesores para una tarea en consideración (Baskar & Xavier M, 2020), algoritmos genéticos (Goldberg, 1989), la búsqueda local iterada (Glover & Kochenberger, 2003), búsqueda tabú (García Martínez, 2008), recocido simulado (Chikhi, 2025), entre otros.

El SALBP-1 pertenece a los problemas denominados como NP-hard, esto implica que no existe un algoritmo eficiente para resolverlo de manera exacta en casos de gran escala (Baskar & Xavier M, 2020). Debido a la complejidad computacional de este tipo de problemas, la presente investigación se ha centrado en métodos heurísticos y metaheurísticos a pesar de no garantizar soluciones óptimas, proporcionan resultados en tiempos computacionales prácticos dentro de márgenes de error aceptables.

Álvarez Miranda, Pereira y Vilá (2023) analizaron la relación entre las características del SALBP y métodos derivados del problema de empaquetamiento en contenedores (Bin Packing Problem, BPP). Sus hallazgos indican que incluso con técnicas avanzadas como el (Branch, Bound, and Remember, BBR), la inclusión de restricciones de precedencia aumenta significativamente la dificultad, limitando

la obtención de soluciones óptimas incluso en instancias pequeñas.

Boysen, Schulze y Scholl (2022) realizaron una revisión exhaustiva de los avances en balanceo de líneas, destacando que, aunque los modelos matemáticos son útiles como referencia, en entornos reales suelen requerir ajustes manuales para alcanzar resultados óptimos. Por lo anterior, la literatura ha comparado diferentes métodos que se han utilizado para resolver el problema. Es el caso de Fathi, Fontes, Moris y Ghobakhloo (2018), quienes compararon 20 heurísticas aplicadas al SALBP-1, concluyendo que la eficiencia de la línea y el tiempo de inactividad son factores determinantes para reducir el número de estaciones. Por su parte, Pape (2015) optimizó heurísticas tradicionales como las de Hoffmann, demostrando que la programación dinámica y la búsqueda tabú son altamente efectivas en este tipo de problemas.

Los métodos utilizados para resolver este tipo de problemas considerados NP-Hard son esenciales para resolver problemas reales en la industria, tal es el caso de implementaciones y adaptaciones de modelos para implementar un modelo basado en la Teoría de Restricciones (TOC) y la metodología 5S en una empresa procesadora de vidrio templado, logrando mejoras significativas en productividad Escalante Torres (2021). Además, Guamán Lozano et al. (2018) aplican el método COMSOAL (Computer Method for Sequencing Operations for Assembly Lines) en una línea de ensamble automotriz, optimizando la distribución de tareas sin incrementar recursos.

Miño Cascante et al. (2019) destacaron la importancia de los tiempos estándar y los diagramas de precedencia en líneas de soldadura, mientras que Orejuela Cabrera y Flórez González (2019) propusieron un modelo multi-objetivo para la industria farmacéutica, equilibrando tiempos de ciclo, número de estaciones e inventario en proceso.

Ahora, es necesario mencionar que las tendencias futuras siguen tendencias hacia investigaciones recientes exploran la combinación de metaheurísticas, como algoritmos genéticos y optimización por colonia de hormigas (Kucukkoc & Zhang, 2016), así como el desarrollo de modelos adaptativos para entornos de producción con alta variabilidad (Nourmohammadi et al., 2019). Sin embargo, persisten desafíos en escalabilidad y aplicabilidad en industrias con alta diversificación de productos.

El SALBP-1 sigue siendo un campo activo de investigación, donde la integración de métodos heurísticos, simulaciones y ajustes empíricos resulta fundamental para lograr equilibrios eficientes en



líneas de producción. Futuros estudios podrían enfocarse en estrategias híbridas que combinen técnicas de optimización clásica con enfoques adaptativos para entornos industriales dinámicos.

Planteamiento del Problema

El Problema de Balanceo de Líneas de Ensamble Tipo 1, consiste en asignar un conjunto de tareas u operaciones con restricciones de precedencia a un conjunto no predeterminado ni limitado de estaciones de trabajo minimizando el número de éstas. Matemáticamente se puede describir como se muestra a continuación:

$$\text{Minimizar } \sum_{w=1}^{W_{max}} y_w \quad \dots 1$$

Sujeto a las restricciones:

$$\sum_{w=1}^{W_{max}} X_{iw} = 1 \text{ para } i = 1, 2, \dots, N \quad \dots 2$$

$$\sum_{i=1}^N t_i * X_{iw} \leq C \text{ para } w = 1, 2, \dots, W_{max} \quad \dots 3$$

$$\sum_{w=1}^{W_{max}} w * X_{hw} \leq \sum_{w=1}^{W_{max}} w * X_{iw} \text{ donde } h \in P_i \quad \dots 4$$

$$y_w \in \{0,1\} \quad \dots 5$$

$$X_{iw} \in \{0,1\} \quad \dots 6$$

En donde:

i : es la tarea

N : el número de tareas.

t_i : tiempo de procesamiento.

C : Tiempo de ciclo.

w : estaciones de trabajo.

W_{max} : límite superior de estaciones de trabajo.

P_i : grupo de predecesores de la tarea i .

X_{iw} : igual a uno si la tarea i es asignada a la estación w , cero en otro caso.

y_w : igual a uno si alguna tarea es asignada a la estación w , cero en otro caso.

La ecuación 1 hace referencia a la función objetivo, la cual consiste en minimizar el número de estaciones de trabajo; la ecuación 2 asegura que cada tarea es asignada a solo una estación de trabajo; en la ecuación 3 se asegura que la suma de todos los tiempos de procesamiento de las tareas asignadas



en la misma estación de trabajo no exceda el tiempo de ciclo; la restricción 4 establece relaciones de precedencia entre las tareas; la restricción 5 define los posibles valores de γ_m ; la restricción 5 define los posibles valores de X_{hw} .

METODOLOGÍA

Es necesario comenzar por mencionar que el algoritmo de Búsqueda Local tiene entre otras limitantes a las dos siguientes: convergencia prematura a soluciones con óptimos locales y vecindarios estáticos.

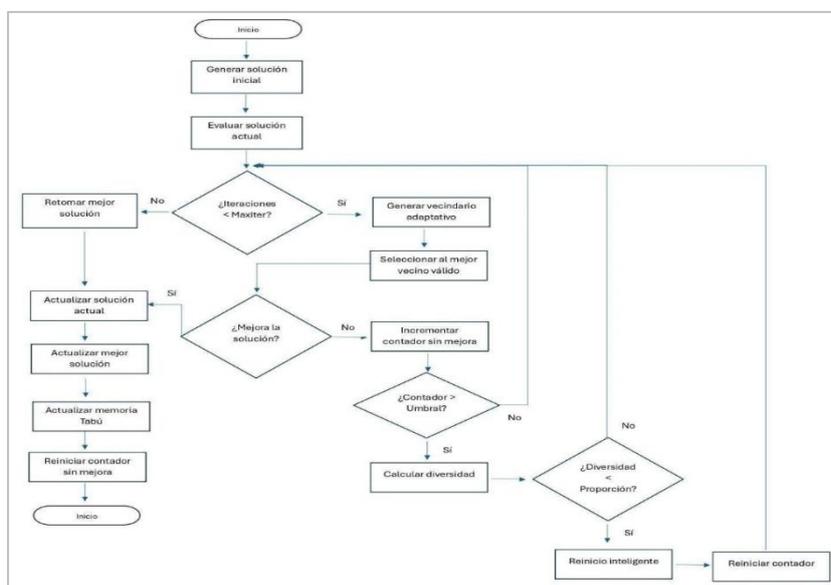
Por lo anterior, la presente metodología tiene 3 innovaciones clave:

1. Un vecindario dinámico con múltiples operadores.
2. Reinicios basados en diversidad.
3. Memoria a corto plazo (inspirada en búsqueda Tabú)

El vecindario dinámico con múltiples operadores en lugar de realizar intercambios de posiciones la solución es perturbada de acuerdo con una probabilidad de ocurrencia. Los reinicios basados en diversidad implica que si no existen mejoras después de k iteraciones se calcula la diversidad de la solución actual contra las históricas y en el caso de encontrar una diversidad baja (soluciones muy similares), se reinicia desde una solución perturbada. Mientras que para mantener una memoria a corto plazo se almacenan las últimas soluciones visitadas penalizando los movimientos que revierten cambios recientes.

De manera completa el algoritmo consiste en los pasos mostrados en la Figura 2:

Figura 2. Diagrama de flujo del algoritmo propuesto



A continuación, se muestra el Pseudocódigo del algoritmo propuesto

Pseudocódigo

Procedimiento Búsqueda Local Modificado

INICIO

Inicialización

Generar solución inicial S

MejorSolución \leftarrow S

MemoriaTabú \leftarrow \emptyset

contador \leftarrow 0

max_iteraciones \leftarrow N

Número máximo de iteraciones

iter \leftarrow 0

Ciclo principal

REPETIR

Generar vecindario de S

Vecindario \leftarrow GenerarVecindario(S)

Seleccionar el mejor vecino válido (no Tabú o que cumple aspiración)

S' \leftarrow SeleccionarMejorVecino(Vecindario, MemoriaTabú)

Validar factibilidad de S'

SI EsFactible(S') ENTONCES

Comparar con la solución actual

SI Calidad(S') < Calidad(S) ENTONCES

Si es mejor (minimización)

S \leftarrow S'

Actualizar solución actual

Actualizar la mejor solución encontrada

SI Calidad(S) < Calidad(MejorSolución) ENTONCES

MejorSolución \leftarrow S

MemoriaTabú \leftarrow ActualizarMemoriaTabú(S, MemoriaTabú)

contador \leftarrow 0

Reiniciar contador (por mejora)

FIN SI

SINO

Si no es mejor, calcular diversidad y reiniciar contador

diversidad \leftarrow CalcularDiversidad(S')

contador \leftarrow 0



```

FIN SI
FIN SI
# Incrementar iteraciones y contador
iter ← iter + 1
contador ← contador + 1
# Reiniciar búsqueda si hay estancamiento (contador > umbral)
SI contador > Umbral ENTONCES
AplicarDiversificación(S, MemoriaTabú)
contador ← 0
FIN SI
# HASTA QUE iter >= max_iteraciones
#DEVOLVER MejorSolución

```

FIN

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El algoritmo propuesto fue utilizado para resolver instancias del Problema de Balanceo de Ensamble Tipo 1, en el cual busca minimizar el número de estaciones de trabajo. Para la experimentación computacional se utilizó el lenguaje de programación Python y un equipo de cómputo con procesador 12th Gen Intel(R) Core(TM) i5-12600 3.30 GHz. Los resultados se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1. Comparación de resultados (número de estaciones NS) del algoritmo propuesto contra la literatura

Instancia	Tiempo de ciclo	Fattahi, Roshani y Roshani (2011)	Roshan, Roshani, Roshani (2013)	Zamzam, Sadek, Afia y El-Kharbo (2015)	Zamzam y Ahmed (2021)	Propuesto (2025)
		NS	NS	NS	NS	NS
Arcus (111)	5755	14	---	21	---	21
	8847	12	14	12	12	14
	10027	10	12	11	10	12
	10743	10	14	10	14	10
	11378	7	9	9	8	9
	17067	5	7	6	5	6
Arcus (83)	5048	11	11	11	11	11
	5853	10	10	9	10	9
	6842	8	8	8	8	8
	7571	7	10	7	9	7
	8412	6	8	6	8	6
	8998	6	7	6	5	6
	10816	6	5	5	6	5
Tonge (70)	176	14	19	19	17	14
	364	5	7	7	5	5
	410	4	5	5	5	4
	468	4	4	4	4	4
	527	4	4	4	4	4
Kilbridge (45)	57	5	6	6	6	5
	79	5	4	8	4	5
	92	4	4	4	4	4
	110	3	3	3	3	3
	138	3	3	3	3	3



	184	2	2	2	2	2
Heskia (28)	138	4	5	5	5	4
	205	3	4	3	4	3
	216	3	3	3	3	3
	256	3	3	3	3	3
	324	2	2	2	2	2
	342	2	2	2	2	2
Mitchell (21)	14	7	7	7	---	7
	15	7	7	7	---	7
	21	5	5	5	---	5
	26	4	4	4	---	4
	35	3	3	3	---	3
	39	2	2	2	---	2
Mansor (11)	45	3	3	3	---	3
	54	3	3	3	---	3
	63	2	2	2	---	2
	72	2	2	2	---	2
	81	2	2	2	---	2
Jackson (11)	7	5	6	6	---	5
	9	4	4	4	---	4
	10	4	4	4	---	4
	13	3	3	3	---	3
	14	3	3	3	---	3
	21	2	2	2	---	2

Los resultados de la Tabla 1 muestran en la mayoría de los casos resultados similares a los obtenidos previamente en la literatura, a pesar de no tener la certeza de contar con valores óptimos se alcanzan buenos resultados mediante el algoritmo propuesto. Ahora, es necesario inferir estadísticamente la eficiencia de los resultados, por lo anterior se comparan los resultados utilizando una comparación de niveles con un solo factor (Algoritmo de prueba) y cinco niveles. Sin embargo, debido al tamaño de las muestras es apropiado utilizar pruebas no paramétricas basadas en la comparación de las medianas; el método estadístico más apropiado es la prueba Kruskal Wallis. Los resultados se muestran en la figura 3.

Figura 3. Prueba de Kruskal Wallis para diferencia de medianas

Prueba			
Hipótesis nula	H_0 : Todas las medianas son iguales		
Hipótesis alterna	H_1 : Al menos una mediana es diferente		
Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	3	1.78	0.620
Ajustado para empates	3	1.81	0.613

De acuerdo con la figura 3 el valor p para los métodos No ajustado para empates y Ajustado para empates el Valor p es mayor que el nivel de significancia (0.05), por lo anterior la Hipótesis nula no se rechaza, es decir, todas las medianas son iguales para las diferentes instancias; lo anterior permite inferir



que el algoritmo propuesto en el presente artículo alcanzó los mejores resultados de la misma forma que las publicaciones analizadas en la literatura.

CONCLUSIONES

La presente investigación busca validar la eficiencia de un nuevo algoritmo que combina a los heurísticos Búsqueda Local y Búsqueda Tabú modificando a ambos para generar un híbrido con la intención de adaptarlos en la solución del Problema Simple de Balanceo de Líneas de Ensamble Tipo 1 conocido por sus siglas en inglés como SALBP-1. El diseño y codificación del algoritmo permite encontrar soluciones factibles para el problema en cuestión, los cuales al compararlos con instancias y bases de datos de la literatura muestran igualdad de eficiencia estadísticamente comprobada mediante pruebas no paramétricas.

De acuerdo con la literatura revisada, algunos algoritmos híbridos entorpecen el proceso de búsqueda de soluciones próximas al óptimo, en otros casos incrementan el tiempo computacional requerido y a pesar de no considerar el tiempo computacional en el presente estudio los resultados muestran ser igual de efectivos que los de la literatura comparada.

En futuras investigaciones se podría incorporar un análisis y comparación de la complejidad computacional del algoritmo propuesto, adicionalmente se podría estudiar la optimización de parámetros de entrada tales como tamaños de población y tamaños de almacenes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Álvarez Miranda, E., Pereira, J., & Vilá, M. (2023). Analysis of the simple assembly line balancing problem complexity. *Computers & Operations Research* 159.
- Baskar, A., & Xavier M, A. (2020). Heuristics based on Slope Indices for Simple Type I Assembly Line Balancing Problems and Analyzing for a Few Performance Measures. *Materials Today: Proceedings* 22, 3171–3180.
- Boysen, N., Schulze, P., & Scholl, A. (2022). Assembly line balancing: What happened in the last fifteen years? *European Journal of Operational Research* 301, 797-814.
- Carro Paz, R., & Gonzáles Gómez, D. (Agosto de 2013). Obtenido de mdp: http://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/1606/1/01_sistema_de_produccion.pdf
- Chikhi, N. F. (2025). Simulated annealing-based text clustering. *Pattern Recognition Letters*, 128-134.
- Coletti Romero, E., & Riojas Cañari, A. C. (2018). Balance de línea de producción en una empresa de calzado . *Revista PeRuana de ComPutación y sistemas*.
- Escalante Torres, O. E. (2021). Modelo de balance de línea para mejorar la productividad en una



- empresa de procesamiento de vidrio templado. *Industrial Data* , 219-242.
- Fathi, M., Martins Fontes, D. B., Urenda Moris, M., & Ghobakhloo, M. (2018). Assembly line balancing problem: a comparative evaluation of heuristics and a computational assessment of objectives. *Journal of Modelling in Management*, 1-23.
- García Martínez , C. (2008). *Algoritmos Genéticos Locales*. Universidad de Granada, granada.
- Glover, F., & Kochenberger, G. A. (2003). *Handbook of metaheuristics*. New York, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Goldberg, D. E. (1989). *The Design of Innovation: Lessons from and for Competent Genetic Algorithms*. Boston, MA, USA.: Longman Publishing Co. Inc.
- González Martínez, J. (2003). La producción en serie y la producción flexible: Principios técnicas organizacionales y fundamentos del cambio (Primera ed.). Cd. Mexico: UAM- Azcapotzalco.
- Guamán Lozano, Á. G., Miño Cascante, G. E., & Santillán Mariño, C. J. (2018). Optimización del sistema de producción de una planta ensambladora de autos aplicando balance de líneas. *Revista digital de Medio Ambiente "Ojeando la agenda"*.
- Kriengkarakot, N., & Pianthong, N. (2007). The Assembly Line Balancing Problem : Review articles*. *KKU Engineering Journal Vol. 34 No .2*, 133 - 140.
- Kucukkoc, I., & Zhang, D. Z. (2016). Integrating ant colony and genetic algorithms in the balancing and scheduling of complex assembly lines. *Int J Adv Manuf Technol*, 265–285.
- Miño Cascante, G., Moyano Alulema, J., & Santillán Mariño, C. (2019). Tiempos estándar para balanceo de línea en área soldadura del automóvil modelo cuatro. *Ingeniería Industrial*, 110-122.
- Murillo Garcia, R., Peñaherrera-Larenas, F., Borja Salinas, E., & Vanegas, V. (2018). Líneas de ensamble y balanceo y su impacto en la productividad de los procesos de manufactura. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*.
- Nourmohammadi, A., Fathi, M., & C. Ng, A. H. (2019). Choosing efficient meta-heuristics to solve the assembly line balancing problem: A landscape analysis approach. *52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 1248-1253.
- Orejuela Cabrera, J. P., & Flórez González, A. (2019). Balanceo de líneas de producción en la industria farmacéutica mediante Programación por metas. *INGE CUC*, 109-122.
- Pape, T. (2015). Heuristics and lower bounds for the simple assembly line balancing problem type 1: Overview, computational tests and improvements. *European Journal of Operational Research* 240, 32-42
- Possan Junior, M. C., Sato Michels, A., & Magatão, L. (2023). An exact method to incorporate ergonomic risks in Assembly Line Balancing. *Computers&IndustrialEngineering*.
- Sadurní, J. (4 de Abril de 2022). *National Geographic*. Obtenido de https://historia.nationalgeographic.com.es/a/henry-ford-revolucion-industria-automovil_17863

