

Anteproyecto: Balanceo de línea de desensamble para la optimización de la carcasa de pollo

Introducción

La industria avícola afronta el reto de maximizar el aprovechamiento de la carcasa de pollo en un contexto de sostenibilidad y competencia global. El balanceo de líneas de desensamble (DLB, por sus siglas en inglés) surge como una estrategia que permite asignar tareas y recursos de manera eficiente en procesos donde los productos se desmontan para recuperar valor. Estudios previos han destacado la relevancia de aplicar estos principios al sector cárnico para reducir desperdicios y mejorar la productividad (gpt?; geminimd?).

Estado del arte

El DLB ha sido explorado desde distintos enfoques, empleando algoritmos exactos y heurísticos para optimizar la secuencia de operaciones, el tiempo de ciclo y la utilización de recursos. En el ámbito alimentario, trabajos como (1s20s0924224410000063mainpdf?) y (1s20s240589631631179xmainpdf?) discuten la adaptación de estas metodologías a líneas de procesamiento de carne. Investigaciones relacionadas han propuesto modelos de optimización multiobjetivo, técnicas metaheurísticas y esquemas basados en simulación para abordar la variabilidad inherente a los productos biológicos (10117700368504241238612pdf?; ahybridtabusearchmethodforassemblylinebalapdf?).

Pregunta problema

¿Cómo implementar un modelo de balanceo de línea de desensamble que optimice la recuperación de componentes de la carcasa de pollo, minimizando tiempos muertos y residuos, en un entorno de producción avícola de pequeña y mediana escala?

Objetivos

General

Desarrollar un anteproyecto para el diseño e implementación de un modelo de balanceo de línea de desensamble enfocado en la optimización de la carcasa de pollo.

Específicos

- Analizar el estado del arte sobre DLB y su aplicación en la industria alimentaria.
- Identificar restricciones técnicas y operativas propias del desensamble de carcasas avícolas.

- Proponer un modelo preliminar que integre criterios de eficiencia, calidad y sostenibilidad.
- Elaborar un cronograma de actividades para la validación del modelo en un entorno piloto.

Cronograma

Tabla de actividades

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4
Revisión bibliográfica	X	X		
Diseño del modelo		X	X	
Implementación piloto			X	X
Análisis de resultados				X

Diagrama de Gantt

```

gantt
title Cronograma propuesto
dateFormat YYYY-MM-DD
section Revisión
tareas preliminares :done, des1, 2024-08-01, 30d
section Diseño
modelado inicial :active, des2, 2024-09-01, 30d
section Implementación
piloto : des3, 2024-10-01, 30d
section Cierre
análisis final : des4, 2024-11-01, 30d

```

Referencias

Las referencias completas se encuentran en el archivo **referencias.bib** asociado a este documento. Durante el desarrollo se consultaron múltiples fuentes académicas y técnicas, disponibles en la carpeta **data** y en los archivos de la carpeta **respuestas** (**notebookmlmd?**; **txyzmd?**).

Anexo: Resultados completos de las búsquedas

A continuación se incluyen los contenidos originales de cada archivo dentro de la carpeta **respuestas**, consolidados para referencia futura.

Archivo: gemini.md

Usuario:

Realiza una construcción del estado del arte y un anteproyecto acerca de "Balanceo de líneas"

Resultado:

Balanceo de Líneas de Desensamble para Carcasas de Pollo: Estado del Arte y Anteproyecto

Resumen Ejecutivo

Este informe presenta un análisis exhaustivo del estado del arte en el balanceo de líneas de

Se identifican y discuten los desafíos inherentes a esta aplicación, como la perecibilidad de

Las conclusiones resaltan la necesidad de enfoques innovadores que integren la automatización

1. Introducción

El balanceo de líneas de producción constituye una técnica esencial en la gestión de operaci

La industria avícola representa el sector de proteínas animales de mayor envergadura a nivel

La concepción tradicional del balanceo de líneas se enfoca en la eficiencia temporal, buscar

El presente informe tiene como objetivos principales: realizar una construcción rigurosa del

2. Conceptos Fundamentales

2.1. Balanceo de Líneas de Producción (General)

El balanceo de líneas es una técnica de ingeniería industrial diseñada para distribuir de ma

Para comprender a cabalidad el balanceo de líneas, es fundamental familiarizarse con una ser

línea de producción es la disposición física de estaciones de trabajo donde se ejecutan oper

estación de trabajo es un punto específico en la línea donde se lleva a cabo una operación c

tareas son los pasos necesarios para transformar las materias primas en productos terminados

tiempo de ciclo es el tiempo total requerido para fabricar una unidad del producto , mientra

tiempo takt representa el ritmo al cual los productos deben ser fabricados para satisfacer l

precedencia establece la secuencia obligatoria en la que ciertas tareas deben realizarse. F

contenido de trabajo abarca el tiempo total necesario para completar todas las tareas sobre

Antes de emprender un balanceo de línea, deben cumplirse ciertas condiciones previas. Es in

2.2. Balanceo de Líneas de Desensamble (DLB)

El balanceo de líneas de desensamble (DLB) se define como el proceso de asignar óptimamente

La naturaleza inversa del DLB introduce complejidades inherentes que lo distinguen del balanceo.

Los objetivos específicos del DLB son diversos y a menudo multifacéticos. Incluyen la minimización de los costos, la maximización de la calidad y la reducción de los desperdicios.

2.3. Procesamiento Industrial de Carcasas de Pollo

El faenamiento de pollos es un proceso industrial que transforma un ave viva en una carcasa.

Las etapas principales son:

Recolección y Transporte: Las aves son recogidas humanamente en las granjas y transportadas al matadero.

Recepción y Espera: Una vez en el matadero, las aves pasan por un período de espera controlada.

Colgado y Aturdimiento: Los pollos son colgados cuidadosamente por las patas en una línea móvil.

Desangrado/Sacrificio: Se realiza un corte rápido y humano en la garganta del ave inconsciente.

Escaldado: Las aves son sumergidas en baños de agua caliente para aflojar las plumas y facilitar el pelado.

Pelado: Máquinas especializadas con "dedos" de goma rotatorios remueven las plumas de las carcasas.

Evisceración: Se extraen las vísceras y órganos internos del ave. Durante esta etapa, inspección visual.

Limpieza y Enfriamiento: Las carcasas evisceradas se limpian a fondo, a menudo con enjuagues de agua fría.

Segundo Procesamiento (Corte y Deshuesado): En esta fase, la carcasa se corta y deshuesa en partes.

Empaque y Envío: Los productos finales se empaquetan en bandejas, se pesan, etiquetan con información.

La etapa de desensamble, específicamente el corte y deshuesado, es de particular relevancia.

La fase de "segundo procesamiento" o "desensamble" es un punto de inflexión de valor en la cadena.

3. Estado del Arte: Balanceo de Líneas de Desensamble para Carcasas de Pollo

El balanceo de líneas de desensamble (DLB) en el contexto de carcasas de pollo presenta un desafío.

3.1. Desafíos y Consideraciones Específicas en la Industria Avícola

La industria avícola enfrenta retos particulares que deben ser abordados en cualquier modelo de DLB.

Perecibilidad del producto: Los productos cárnicos, incluyendo las carcasas de pollo y sus derivados.

Variabilidad de la carcasa: Uno de los desafíos más significativos reside en la variabilidad de la carcasa.

La variabilidad de la carcasa es un factor determinante que impulsa la complejidad y la innovación.

Higiene y seguridad alimentaria: El entorno de procesamiento de carne se caracteriza por bajos niveles de contaminación y altos estándares de higiene.

Velocidad de línea y ergonomía: Las líneas de procesamiento avícola operan a velocidades extremadamente altas, lo que requiere diseños ergonómicos para los trabajadores.

Aprovechamiento de subproductos y "balance de la carcasa": La industria avícola persigue un balance eficiente de la carcasa para maximizar el uso de los recursos.

La economía circular se encuentra en el corazón de este enfoque de balanceo. Mientras que el

3.2. Aplicaciones y Tendencias Actuales de DLB en el Procesamiento de Carne

La creciente demanda de productos cárnicos y la presión por la eficiencia han impulsado la adopción de DLB en la industria avícola.

Una tendencia destacada es la integración de la automatización y la visión artificial en las líneas de procesamiento.

La digitalización se ha convertido en un facilitador clave para la optimización dinámica en tiempo real.

4. Metodologías de Solución para Problemas de Balanceo de Líneas de Desensamble (DLBP)

Los problemas de balanceo de líneas de desensamble (DLBP) son reconocidos como problemas NP-difíciles.

4.1. Métodos Exactos

Los métodos exactos buscan encontrar la solución óptima global para un problema, garantizando la optimalidad.

4.2. Métodos Heurísticos

Los métodos heurísticos son procedimientos que buscan encontrar soluciones de "buena calidad" en un tiempo razonable.

4.3. Métodos Metaheurísticos

Las metaheurísticas son algoritmos de búsqueda adaptativos que emplean reglas probabilísticas para explorar el espacio de soluciones.

La complejidad inherente de los problemas de balanceo de líneas de desensamble, acentuada por el crecimiento de la producción, requiere métodos sofisticados.

Entre los ejemplos y aplicaciones en DLBP se encuentran:

Algoritmos Genéticos (GA): Inspirados en los principios de la evolución biológica, son ampliamente utilizados para problemas de optimización combinatoria.

Simulated Annealing (SA): Este algoritmo, que emula el proceso de recocido de metales para encontrar el estado de mínima energía.

Optimización por Enjambre de Partículas (PSO): Basado en el comportamiento social de grupos de animales, como aves o peces.

Algoritmos de Colonia de Hormigas (ACO): Inspirados en el comportamiento de búsqueda de alimento de las hormigas.

Algoritmos de Optimización de Aves Migratorias (MBO) y Optimización por Enjambre de Gallinas (GSO).

Multi-objective Adaptive Large Neighborhood Search (MO-ALNS): Un algoritmo innovador que integra técnicas de búsqueda local y global.

La investigación en DLBP para carcadas de pollo se orienta fuertemente hacia el desarrollo y la implementación de algoritmos metaheurísticos.

4.4. Modelos de Simulación

Los modelos de simulación, particularmente la Simulación de Eventos Discretos (DES), son he

La simulación ha demostrado su efectividad en diversos estudios de caso. Por ejemplo, en la

La simulación actúa como un puente vital entre la teoría y la realidad operativa. Los modelo

4.5. Optimización Multi-Objetivo en DLBP

La optimización multi-objetivo (MOO) aborda problemas de optimización que involucran más de

Para resolver problemas de MOO, se utilizan diversos enfoques. Uno de ellos es transformar e

La optimización de la línea de desensamble de carcasas de pollo es inherentemente un problem

La complejidad de la decisión en un entorno de múltiples prioridades es un factor crítico. L

trade-offs entre los diferentes objetivos. Un anteproyecto exitoso para el balanceo de línea

5. Análisis Comparativo de Publicaciones Científicas

5.1. Búsqueda en Bases de Datos (Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect)

La búsqueda de literatura para este estado del arte se centró en bases de datos académicas c

A pesar de la considerable cantidad de investigación sobre el "balanceo de líneas de desensa

5.2. Tabla Comparativa de Papers Relevantes

Esta tabla es fundamental para el estado del arte, ya que proporciona una visión estructura

Tabla 1: Comparativa de Publicaciones Científicas Relevantes

Título del Paper / Autor(es) / Año	Base de Datos	Enfoque Principal	Metodología de Solu
Disassembly line balancing problem: a review of the state of the art and future directions /			
Disassembly Scheduling for the Meat Processing Industry with Product Perishability / Piewth			
Online chicken carcass volume estimation using depth imaging and 3-D reconstruction / Bilgil			
.1,			

Carcass balance - a key challenge for the poultry industry / Marel (2023)	Scopus	Balance
.2,		

Automated On-site Broiler Live Weight Estimation Through YOLO-Based Segmentation / Shams et			
A disassembly line balancing model with the goal of maximizing disassembly profits is establ			
Towards human-robot collaboration in meat processing: Challenges and possibilities / Faccio			
Multi-criteria analysis of statistical methods to determine the fluctuation of parameters at			
Multi-Objective Optimization Approach for Enhancing Production System Efficiency in a Food P			

5.3. Tabla Comparativa de Metodologías de Solución

Esta tabla ofrece una comparación estructurada de las metodologías de solución para problema

Tabla 2: Comparativa de Metodologías de Solución para DLBP

Metodología	Descripción	Fortalezas	Debilidades	Aplicabilidad en DLB de Carcasas de Pollo
Métodos Exactos (PEB, PLEM)	Modelos matemáticos que garantizan la solución óptima global.			
Métodos Heurísticos (LCR, RPW, Dijkstra-based)	Procedimientos que buscan soluciones de "buen			
Métodos Metaheurísticos (GA, SA, PSO, ACO, MBO/CSO, MO-ALNS)	Algoritmos de búsqueda adapt			
Modelos de Simulación (DES con AnyLogic/ProModel)	Representación computacional de un siste			
Optimización Multi-Objetivo (MOO)	Enfoques que consideran y optimizan simultáneamente múlt			

6. Diagramas de Relaciones y Flujo de Procesos

Para complementar el análisis textual y proporcionar una comprensión visual clara de los con

Diagrama de Flujo del Proceso de Desensamble de Carcasas de Pollo: Este diagrama ilustraría

Diagrama de Relaciones entre Objetivos y Metodologías de DLBP: Este diagrama conceptual repr

7. Tesuario (Glossary of Terms)

Balanceo de Líneas: Técnica de gestión de la producción para distribuir equitativamente tare

Línea de Desensamble (DLB): Proceso de asignar óptimamente tareas de desensamble de un produ

Tiempo de Ciclo (Cycle Time): El tiempo total requerido para fabricar o procesar una unidad

Tiempo Takt (Takt Time): El ritmo al cual los productos deben ser fabricados o procesados pa

Precedencia: La secuencia obligatoria en la que deben realizarse ciertas tareas o elementos

Estación de Trabajo: Un punto físico o lógico en una línea de producción donde se ejecuta un

Contenido de Trabajo: La suma de los tiempos estándar de todas las tareas que deben realizar

Programación Entera Binaria (PEB): Un tipo de modelo de optimización matemática donde alguna

Programación Lineal Entera Mixta (PLEM): Un tipo de modelo de optimización matemática que in

Heurística: Un procedimiento o algoritmo que busca una solución "suficientemente buena" a un

Metaheurística: Un algoritmo de alto nivel que guía un proceso de búsqueda para encontrar so

Algoritmo Genético (GA): Una metaheurística inspirada en la selección natural y la genética,

Simulated Annealing (SA): Una metaheurística que imita el proceso de recocido de metales, ut

Optimización por Enjambre de Partículas (PSO): Una metaheurística bio-inspirada que simula e

Algoritmo de Colonia de Hormigas (ACO): Una metaheurística inspirada en el comportamiento de las hormigas.

Optimización Multi-Objetivo (MOO): Un área de la optimización matemática que trata con problemas que tienen más de un objetivo.

Solución Pareto Óptima: En MOO, una solución es Pareto óptima si no se puede mejorar ninguna de las funciones objetivo sin empeorar alguna.

Simulación de Eventos Discretos (DES): Una metodología de simulación que modela el comportamiento de un sistema a lo largo del tiempo.

Visión Artificial: Campo de la inteligencia artificial que permite a las computadoras "ver" y entender imágenes.

Colaboración Humano-Robot (HRC): Un paradigma de trabajo donde humanos y robots colaboran en la realización de tareas.

Balance de la Carcasa: En la industria cárnica, se refiere a la maximización del uso y valor de la carcasa.

Perecibilidad: La propiedad de un producto de degradarse o estropearse con el tiempo, lo que afecta su vida útil.

8. Conclusiones y Recomendaciones para el Anteproyecto

El análisis del estado del arte revela que el balanceo de líneas de desensamble para carcasas es un desafío complejo.

Se observa una brecha significativa en la literatura: si bien existe una vasta investigación sobre optimización y simulación, no se han abordado de manera integral los aspectos de sostenibilidad y colaboración humano-robot en este contexto.

Las metodologías de solución más prometedoras para este desafío son las metaheurísticas y la simulación de eventos discretos.

Con base en estos hallazgos, se proponen las siguientes fases y recomendaciones para un anteproyecto de investigación:

Fase 1: Caracterización Detallada del Proceso de Desensamble

Realizar un estudio exhaustivo de tiempos y movimientos para cada tarea de corte y deshuesado.

Elaborar un mapeo preciso de las relaciones de precedencia entre todas las tareas de desensamble.

Recopilar datos históricos sobre los rendimientos de los diferentes cortes de carne y subproductos.

Fase 2: Desarrollo de un Modelo de Optimización Multi-Objetivo

Formular un modelo matemático robusto, preferiblemente utilizando Programación Lineal Entera.

Los objetivos del modelo deben incluir:

Minimización del número de estaciones de trabajo o del tiempo de ciclo.

Maximización del rendimiento de los cortes de carne de mayor valor comercial.

Maximización de la valorización de los subproductos (ej. patas, vísceras, huesos) mediante su venta o procesamiento.

Minimización del desperdicio de producto.

El modelo debe incorporar explícitamente restricciones operativas como la capacidad de las e
Integrar parámetros de variabilidad, como tiempos de tarea estocásticos o distribuciones de

Fase 3: Implementación y Validación mediante Simulación

Desarrollar un modelo de simulación de eventos discretos (DES), utilizando software especial
Validar el modelo de simulación con datos operativos reales de la planta para asegurar su pr
Utilizar el modelo de simulación para experimentar con diferentes escenarios de balanceo gen
Realizar análisis de sensibilidad para comprender cómo la variabilidad en el tamaño de las c

Fase 4: Evaluación de Tecnologías Habilitadoras

Investigar la viabilidad técnica y económica de integrar sistemas de visión artificial en la
Analizar el potencial de la robótica y la colaboración humano-robot (HRC) para automatizar t

Fase 5: Análisis Económico y de Sostenibilidad

Cuantificar el impacto económico potencial de las mejoras propuestas, incluyendo la reducci
Evaluar el impacto ambiental de las soluciones de balanceo, centrándose en la reducción de l
La implementación de estas fases permitirá desarrollar un anteproyecto sólido y fundamentado

9. Referencias

- SPC Consulting Group. (s.f.). Balanceo de Líneas. Recuperado de
<https://spcgroup.com.mx/balanceo-de-lineas/#:~:text=El%20balanceo%20de%20lineas%20es,product>
- SPC Consulting Group. (s.f.). ¿Qué es el balanceo de líneas?. Recuperado de
<https://spcgroup.com.mx/balanceo-de-lineas/>
- Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. (s.f.). Articulo.pdf. Recuperado de
<https://cathi.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/11933/Articulo.pdf?sequence=1&isAllowed=1>
- Cronometras. (s.f.). Balanceo de Líneas: Optimizando la Eficiencia en Procesos de Manufactu
<https://cronometras.com/es/blog/balanceo-de-lineas-optimizando-la-eficiencia-en-procesos-de>

<https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/15132/21566>

Ciencia Latina. (s.f.). IEEE Xplore balanceo de líneas de desensamble. Recuperado de
<https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/15132/21566>

ResearchGate. (s.f.). A Simulation-Based Approach for Line Balancing Under Demand Uncertain
https://www.researchgate.net/publication/377862831_A_Simulation-Based_Approach_for_Line_Balancing_Under_Demand_Uncertainty

MDPI. (s.f.). A mixed-integer programming (MIP) model based on energy efficiency is established
<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/6/3358>

Redalyc. (s.f.). Problema de balanceo de una línea del tipo SALBP: caso de una línea de corte
<https://www.redalyc.org/journal/5177/517764671014/html/>

USDA ARS. (s.f.). Chicken carcass scalding and chilling are two essential steps in modern chicken processing
<https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=286418>

ResearchGate. (s.f.). Effect of strain sex and slaughter weight on growth performance carcass weight
https://www.researchgate.net/publication/347706976_Effect_of_strain_sex_and_slaughter_weight_on_growth_performance_carcass_weight

arXiv. (s.f.). The poultry industry has been driven primarily by broiler chicken production
<https://arxiv.org/html/2507.18558v1>

ResearchGate. (s.f.). Synthetic Data Augmentation for Enhanced Chicken Carcass Instance Segmentation
https://www.researchgate.net/publication/393983108_Synthetic_Data_Augmentation_for_Enhanced_Chicken_Carcass_Instance_Segmentation

NCBI. (s.f.). Online chicken carcass volume estimation using depth imaging and 3-D reconstruction
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11419819/>

Marel. (s.f.). Carcass balance - a key challenge for the poultry industry. Recuperado de
<https://marel.com/en/news/carcass-balance-a-key-challenge-for-the-poultry-industry/>

ResearchGate. (s.f.). Automated On-site Broiler Live Weight Estimation Through YOLOv5. Recuperado de
https://www.researchgate.net/publication/388786829_Automated_On-site_Broiler_Live_Weight_Estimation_Through_YOLOv5

ResearchGate. (s.f.). Assessing and improving the automatic ordering of perishable products
https://www.researchgate.net/publication/293333788_Assessing_and_improving_the_automatic_ordering_of_perishable_products

ResearchGate. (s.f.). Disassembly Scheduling for the Meat Processing Industry with Product
https://www.researchgate.net/publication/331436230_Disassembly_Scheduling_for_the_Meat_Processing_Industry_with_Product

ResearchGate. (s.f.). Optimization Models for Harvest and Production Planning in Agri-Food
https://www.researchgate.net/publication/353788655_Optimization_Models_for_Harvest_and_Production_Planning_in_Agri-Food

RELEX Solutions. (s.f.). How mathematical optimization unlocks profits in the poultry supply chain
<https://www.relexsolutions.com/resources/poultry-supply-chain/>

ResearchGate. (s.f.). Exact methods in disassembly sequencing as a benchmark for heuristic
https://www.researchgate.net/publication/241384424_Exact_methods_in_disassembly_sequencing_as_a_benchmark_for_heuristic

ResearchGate. (s.f.). A survey on metaheuristics for optimization in food manufacturing industry
https://www.researchgate.net/publication/303095676_A_survey_on_metaheuristics_for_optimization_in_food_manufacturing_industry

PubMed. (s.f.). Optimizing Enzymatic Processes for Enhanced Nutritional and Organoleptic Properties
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40238421/>

PubMed. (s.f.). On-line weight estimation of broiler carcass and cuts by a computer vision system
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34742122/>

ResearchGate. (s.f.). Line balancing using heuristic procedure and simulation of assembly line
https://www.researchgate.net/publication/339143282_Line_balancing_using_heuristic_procedure_and_simulation_of_assembly_line

ResearchGate. (s.f.). The Heuristic Methods for Assembly Line Balancing Problem: A Case of
https://www.researchgate.net/publication/335695635_The_Heuristic_Methods_for_Assembly_Line_Balancing_Problem_A_Case_of

MDPI. (s.f.). A disassembly line balancing model with the goal of maximizing disassembly profit
<https://www.mdpi.com/2227-7390/12/2/342>

Atlantis Press. (s.f.). Disassembly line is the most suitable way for enterprises to disassemble

<https://www.atlantis-press.com/proceedings/cdems-25/126012765>

ResearchGate. (s.f.). A comparative analysis of meta-heuristic methods on disassembly line
https://www.researchgate.net/publication/364157768_A_comparative_analysis_of_meta-heuristic

IDEAS. (s.f.). A comparative analysis of meta-heuristic methods on disassembly. Recuperado
https://ideas.repec.org/a/spr/annopr/v321y2023i1d10.1007_s10479-022-04910-1.html

ResearchGate. (s.f.). The disassembly line balancing (DLB) problem assigns the set of tasks
https://www.researchgate.net/publication/322739774_Disassembly_line_balancing_problem_a_rev

ResearchGate. (s.f.). A Simulation-Based Approach for Line Balancing Under Demand Uncertain
https://www.researchgate.net/publication/377862831_A_Simulation-Based_Approach_for_Line_Bala

ResearchGate. (s.f.). The disassembly line balancing (DLB) problem assigns the set of tasks
https://www.researchgate.net/publication/322739774_Disassembly_line_balancing_problem_a_rev

PMC. (s.f.). NSCSO: a novel multi-objective non-dominated sorting chicken swarm optimization
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10881516/>

ResearchGate. (s.f.). Multi-objective chicken swarm optimization: A novel algorithm for sol
https://www.researchgate.net/publication/330861835_Multi-objective_chicken_swarm_optimization

ResearchGate. (s.f.). Multiple Product Hybrid Disassembly Line Balancing Problem With Human
https://www.researchgate.net/publication/381901339_Multiple_Product_Hybrid_Disassembly_Line

MDPI. (s.f.). Hybrid Disassembly Line Balancing of Multi-Factory Remanufacturing Process Co
<https://www.mdpi.com/2227-7390/13/5/880>

ResearchGate. (s.f.). A CASE STUDY OF LINE BALANCING USING LARGEST CANDIDATE RULE ALGORITHM
https://www.researchgate.net/publication/321194686_A_CASE_STUDY_OF_LINE_BALANCING_USING_LAR

NCBI. (s.f.). On-line weight estimation of broiler carcass and cuts by a computer vision sy
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8577095/>

USDA FSIS. (s.f.). PULSE_PoultryStudy_250109_Final.pdf. Recuperado de
https://www.fsis.usda.gov/sites/default/files/media_file/documents/PULSE_PoultryStudy_250109_Final.pdf

USDA FSIS. (s.f.). Poultry Processing Line Speed Evaluation Study (PULSE). Recuperado de
<https://www.fsis.usda.gov/news-events/publications/poultry-processing-line-speed-evaluation-study>

ResearchGate. (s.f.). A review of unilateral grippers for meat industry automation. Recuperado de
https://www.researchgate.net/publication/357019090_A_review_of_unilateral_grippers_for_meat_industry_automation

ResearchGate. (s.f.). Towards human-robot collaboration in meat processing: Challenges and opportunities. Recuperado de
https://www.researchgate.net/publication/360252728_Towards_human-robot_collaboration_in_meat_processing_challenges_and_opportunities

ResearchGate. (s.f.). Automated On-site Broiler Live Weight Estimation Through YOLO-Based Segmentation. Recuperado de
https://www.researchgate.net/publication/388786829_Automated_On-site_Broiler_Live_Weight_Estimation_Through_YOLO-Based_Segmentation

ResearchGate. (s.f.). Towards human-robot collaboration in meat processing: Challenges and opportunities. Recuperado de
https://www.researchgate.net/publication/360252728_Towards_human-robot_collaboration_in_meat_processing_challenges_and_opportunities

ResearchGate. (s.f.). Automated On-site Broiler Live Weight Estimation Through YOLO-Based Segmentation. Recuperado de
https://www.researchgate.net/publication/388786829_Automated_On-site_Broiler_Live_Weight_Estimation_Through_YOLO-Based_Segmentation

Jurnal Wastukencana. (s.f.). Based on initial calculations, the line efficiency was 51.07%. Recuperado de
<https://jurnal.wastukencana.ac.id/index.php/teknologika/article/view/456>

ResearchGate. (s.f.). Multi-Objective Optimization Approach for Enhancing Production System Efficiency. Recuperado de
https://www.researchgate.net/publication/393643759_Multi-Objective_Optimization_Approach_for_Enhancing_Production_System_Efficiency

Wikipedia. (s.f.). Multi-objective optimization. Recuperado de
https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-objective_optimization

Jurnal Wastukencana. (s.f.). The method used in this study is line balancing with the Pro M. Recuperado de
<https://jurnal.wastukencana.ac.id/index.php/teknologika/article/view/456>

ResearchGate. (s.f.). An ECRS-based line balancing concept A case study of a frozen chicken line. Recuperado de
https://www.researchgate.net/publication/357019090_A_review_of_unilateral_grippers_for_meat_industry_automation

https://www.researchgate.net/publication/265969677_An_ECRS-based_line_balancing_concept_A_ca
 ResearchGate. (s.f.). Multi-Objective Optimization Approach for Enhancing Production System
https://www.researchgate.net/publication/393643759_Multi-Objective_Optimization_Approach_for
 MDPI. (s.f.). The research proposes a multi-criteria analysis of statistical methods to det
<https://www.mdpi.com/2673-4052/6/3/33>
 ResearchGate. (s.f.). Productivity improvement based line balancing A case study of pasteur
https://www.researchgate.net/publication/283862733_Productivity_improvement_based_line_balanc
 MDPI. (s.f.). However, the increasing complexity of modern food production systems has nece
<https://www.mdpi.com/2076-3417/15/7/3846>

Fuentes usadas en el informe

spcgroup.com.mx
 spcgroup.com.mx
 Se abre en una ventana nueva

cathi.uacj.mx
 1Balanceo de línea de desensamble basado en programación entera binaria - Inicio
 Se abre en una ventana nueva

arxiv.org
 Synthetic Data Augmentation for Enhanced Chicken Carcass Instance Segmentation - arXiv
 Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
 (PDF) Synthetic Data Augmentation for Enhanced Chicken Carcass Instance Segmentation
 Se abre en una ventana nueva

ars.usda.gov
 Quality and Safety Assessment Research Unit: Athens, GA - Publication : USDA ARS
 Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
 (PDF) Effect of strain, sex and slaughter weight on growth performance, carcass yield and qu
 Se abre en una ventana nueva

mdpi.com

Energy-Efficient Optimization of Two-Sided Disassembly Line Balance Considering Parallel Op
Se abre en una ventana nueva

redalyc.org
Problema de balanceo de una línea del tipo SALBP: caso de una línea de confección de prendas
Se abre en una ventana nueva

osha.gov
eTool : Poultry Processing Industry - Tasks - Cutting & Deboning - OSHA
Se abre en una ventana nueva

es.scribd.com
4.3. Balanceo de Líneas de Ensamble para La Producción Simultanea de Más de Un Modelo. | PDF
Se abre en una ventana nueva

ag.colorado.gov
RULES PERTAINING TO POULTRY PROCESSING 8 CCR 1202-16 - Colorado Department of Agriculture
Se abre en una ventana nueva

ciencialatina.org
MODELOS Y MÉTODOS DE SOLUCIÓN EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN APLICADOS EN LAS ORGANI
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
www.researchgate.net
Se abre en una ventana nueva

extension.umn.edu
Home processing of poultry | UMN Extension
Se abre en una ventana nueva

avinews.com
Los desechos del sector avícola, nueva fuente de materias primas para las industrias agrícolas
Se abre en una ventana nueva

youtube.com
¿Cómo logran las granjas avícolas en Estados Unidos producir millones de pollos orgánicos al
Se abre en una ventana nueva

aviagen.com
Manejo de Problemas de Calidad de la Carcasa en la Planta de Procesamiento - Aviagen
Se abre en una ventana nueva

pmc.ncbi.nlm.nih.gov
Online chicken carcass volume estimation using depth imaging and 3-D reconstruction
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net

Assessing and improving the automatic ordering of perishable products: a case study in a ma

Se abre en una ventana nueva

researchgate.net

(PDF) Lean Line Balancing for an Electronics Assembly Line - ResearchGate

Se abre en una ventana nueva

es.scribd.com

Etapas Del Procesamiento de Pollos A Nivel Industrial | PDF | Aves ...

Se abre en una ventana nueva

cronometras.com

Balanceo de Líneas: Optimizando la Eficiencia en Procesos de ...

Se abre en una ventana nueva

spcgroup.com.mx

Balanceo de Líneas - SPC Consulting Group

Se abre en una ventana nueva

chickencheck.in

How are chickens slaughtered and processed for meat?

Se abre en una ventana nueva

researchgate.net

Exact methods in disassembly sequencing as a benchmark for heuristic algorithms

Se abre en una ventana nueva

researchgate.net

A survey on metaheuristics for optimization in food manufacturing industry - ResearchGate

Se abre en una ventana nueva

relexsolutions.com

How mathematical optimization unlocks profits in the poultry supply chain | RELEX Solutions

Se abre en una ventana nueva

pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

Optimizing Enzymatic Processes for Enhanced Nutritional and Organoleptic Properties of Chick

Se abre en una ventana nueva

researchgate.net

Line balancing using heuristic procedure and simulation of assembly line - ResearchGate

Se abre en una ventana nueva

pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

On-line weight estimation of broiler carcass and cuts by a computer vision system - PubMed
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
Optimization Models for Harvest and Production Planning in Agri-Food Supply Chain: A Systematic Review
Se abre en una ventana nueva

marel.com
Carcass balance - a key challenge for the poultry industry | Marel
Se abre en una ventana nueva

mdpi.com
Linear Disassembly Line Balancing Problem with Tool Deterioration and Solution by Discrete Particle Swarm Optimization
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
A comparative analysis of meta-heuristic methods on disassembly line balancing problem with genetic algorithm and particle swarm optimization
Se abre en una ventana nueva

ideas.repec.org
A comparative analysis of meta-heuristic methods on disassembly line balancing problem with genetic algorithm and particle swarm optimization
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
(PDF) A Simulation-Based Approach for Line Balancing Under Demand Uncertainty in Production
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
Multiple Product Hybrid Disassembly Line Balancing Problem With Human-Robot Collaboration | Journal of Intelligent Manufacturing
Se abre en una ventana nueva

mdpi.com
Hybrid Disassembly Line Balancing of Multi-Factory Remanufacturing Process Considering Workload Balancing
Se abre en una ventana nueva

pmc.ncbi.nlm.nih.gov
NSCSO: a novel multi-objective non-dominated sorting chicken swarm optimization algorithm - BMC Bioinformatics
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
Multi-objective chicken swarm optimization: A novel algorithm for solving multi-objective optimization problems
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
Disassembly line balancing problem: a review of the state of the art ...
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net

a case study of line balancing using largest candidate rule algorithm in a manufacturing in

Se abre en una ventana nueva

atlantis-press.com

Modeling and Optimization of U-shaped Sequence-dependent Disassembly Line Balancing Problem

Se abre en una ventana nueva

researchgate.net

Disassembly Scheduling for the Meat Processing Industry with Product Perishability

Se abre en una ventana nueva

fsis.usda.gov

Poultry Processing Line Speed Evaluation Study (PULSE) - Food Safety and Inspection Service

Se abre en una ventana nueva

fsis.usda.gov

Poultry Processing Line Speed Evaluation Study (PULSE)

Se abre en una ventana nueva

pmc.ncbi.nlm.nih.gov

On-line weight estimation of broiler carcass and cuts by a computer vision system - PMC

Se abre en una ventana nueva

ipv6.newinera.com

JOURNAL LA MULTIAPP - Newinera Publisher

Se abre en una ventana nueva

researchgate.net

An ECRS-based line balancing concept: A case study of a frozen chicken producer

Se abre en una ventana nueva

researchgate.net

Multi-Objective Optimization Approach for Enhancing Production System Efficiency in a Food P

Se abre en una ventana nueva

jurnal.wastukancana.ac.id

Line Balancing with Simulation Approach (ProModel) on SMC Big Volume Lane in HA Export Depart

Se abre en una ventana nueva

en.wikipedia.org

Multi-objective optimization - Wikipedia

Se abre en una ventana nueva

researchgate.net

A review of unilateral grippers for meat industry automation | Request PDF - ResearchGate
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
(PDF) Towards human-robot collaboration in meat processing: Challenges and possibilities
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
(PDF) Automated On-site Broiler Live Weight Estimation Through YOLO-Based Segmentation - Res
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
(PDF) The Heuristic Methods for Assembly Line Balancing Problem: A Case of Vietnam Garment I
Se abre en una ventana nueva

mdpi.com
Advancing Optimization Strategies in the Food Industry: From Traditional Approaches to Multi
Se abre en una ventana nueva

mdpi.com
New Approach for Detecting Variability in Industrial Assembly Line Balancing Based on Multi
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
Productivity improvement based line balancing: A case study of pasteurized milk manufacturer

Respuesta 2:

Construcción del Estado del Arte y Anteproyecto: Balanceo de Líneas de Desensamble para Car
Resumen Ejecutivo

El balanceo de líneas de desensamble (DLB, por sus siglas en inglés) representa un pilar fun

La industria avícola, siendo el sector de proteína animal más grande a nivel mundial, se en

El problema del DLB es inherentemente complejo, clasificado como NP-completo, lo que implica

El anteproyecto propuesto se centra en desarrollar un marco metodológico para el balanceo d

1. Introducción

1.1. Contexto de la Industria Avícola y la Economía Circular

La industria avícola se ha consolidado como el sector de proteína animal más grande del mundo

En respuesta a estas presiones, el concepto de economía circular ha ganado una tracción cons

La aplicación de los principios de la economía circular en el procesamiento avícola se traduce en:

La creciente atención a la economía circular y la sostenibilidad impulsa directamente la investigación en este campo.

1.2. Definición y Relevancia del Balanceo de Líneas de Desensamble

El balanceo de líneas es una estrategia de producción diseñada para optimizar el tiempo de inactividad de las líneas de ensamblaje.

Específicamente, el Balanceo de Líneas de Desensamble (DLB) es el problema de asignar un conjunto de tareas a un número limitado de estaciones de trabajo.

La relevancia del DLB para las carcasas de pollo radica en su potencial para mejorar significativamente la eficiencia del procesamiento.

Aunque el objetivo central del balanceo de líneas -minimizar el tiempo de inactividad y maximizar la productividad- es común a muchas industrias.

1.3. Desafíos Específicos en el Desensamble de Carcasas de Pollo

El balanceo de líneas en la industria alimentaria, y particularmente en el procesamiento de carcasas de pollo, enfrenta desafíos únicos.

Uno de los principales desafíos es la perecibilidad del producto. Las carcasas de pollo tienen una vida útil limitada.

La variabilidad inherente de las carcasas de pollo es otro desafío crítico. A diferencia de productos manufacturados, las carcasas presentan variaciones en tamaño, peso y características.

Además, la automatización completa en el desensamble de carcasas de pollo sigue siendo un desafío tecnológico y económico.

Finalmente, los estrictos requisitos de higiene y seguridad alimentaria imponen restricciones adicionales en el diseño de las líneas de desensamble.

La combinación de estos factores -perecibilidad, variabilidad, desafíos de automatización y requisitos de seguridad- hace que el DLB en la industria avícola sea un problema más complejo que en otras industrias.

2. Estado del Arte del Balanceo de Líneas de Desensamble (DLB)

El problema del balanceo de líneas de desensamble (DLB) ha sido objeto de una intensa investigación académica y industrial.

2.1. Tipologías de Problemas de DLB

Los problemas de balanceo de líneas de desensamble se clasifican en varias tipologías, dependiendo de las características de las tareas y de la configuración de la línea.

Una distinción fundamental es entre el DLB completo y el DLB parcial. El DLB completo implica asignar todas las tareas a las estaciones de trabajo.

Otra clasificación importante se basa en la variabilidad de los tiempos de las tareas. Los problemas de DLB se dividen en determinísticos y estocásticos.

Determinísticos: Se asume que los tiempos de las tareas son fijos y conocidos con precisión. Este tipo de problemas es más fácil de resolver.

Estocásticos: Los tiempos de las tareas se modelan como variables aleatorias, reflejando la variabilidad inherente a ciertos procesos de procesamiento.

Además, los problemas pueden diferenciarse por la configuración de la línea:

Líneas en serie (straight lines): Las estaciones están dispuestas consecutivamente y cada estación realiza una única tarea.

Líneas en U (U-lines): Las estaciones están dispuestas en forma de U, lo que puede mejorar el flujo de materiales y reducir el espacio requerido.

Líneas paralelas: Varias líneas de desensamble operan en paralelo, lo que puede proporcionar

Finalmente, la dependencia de la secuencia es una característica crítica. En el DLB depende

2.2. Objetivos de Optimización en DLB

Los objetivos de optimización en el DLB son múltiples y a menudo conflictivos, lo que lleva

Indicadores de la línea de producción:

Minimizar el número de estaciones de trabajo (Tipo-I DLBP): Dado un tiempo de ciclo fijo, se

Minimizar el tiempo de ciclo (Tipo-II DLBP): Dada una cantidad fija de estaciones de trabajo

Maximizar la eficiencia de la línea (Tipo-E DLBP): Busca optimizar la proporción del tiempo

Minimizar la varianza del tiempo de estación / suavidad del balanceo: Busca lograr una distr

Indicadores económicos:

Maximizar el beneficio/rendimiento: Considera los ingresos por componentes recuperados (reut

Minimizar costos: Incluye costos de operación, costos de mano de obra, costos de inversión e

Indicadores ambientales y de sostenibilidad:

Minimizar el índice de peligro: Prioriza la eliminación temprana de partes peligrosas.

Minimizar el consumo de energía: Busca reducir la energía utilizada en las operaciones de de

Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero: Contribuye a la huella de carbono del

Maximizar los beneficios ambientales: Se calcula restando el impacto ambiental de las operac

La optimización multi-objetivo (MOO) es una herramienta indispensable en la industria alimen

2.3. Metodologías de Solución para DLB

Los problemas de DLB son intrínsecamente complejos, a menudo clasificados como NP-hard o NP-

2.3.1. Métodos Exactos

Los métodos exactos buscan la solución óptima global garantizada para un problema. Son útiles

Programación Lineal Entera (PLE): Formula el problema como un conjunto de ecuaciones lineales

Branch-and-Bound (B&B): Es un algoritmo que descompone el problema en subproblemas más peque

Programación Dinámica: Aborda el problema de balanceo de líneas como un problema de secuenci

La aplicación de métodos exactos en el balanceo de líneas de desensamble para carcasas de po

2.3.2. Métodos Heurísticos

Los métodos heurísticos son enfoques basados en la lógica y el sentido común que buscan enco

Largest Candidate Rule (Regla del Candidato Más Grande): Este es uno de los métodos heurísti

Kilbridge and Wester: Introducido en 1961, este método iterativo busca equilibrar la línea d

Ranked Positional Weights (Pesos Posicionales Clasificados): Este método asigna un peso o va

Los métodos heurísticos pueden proporcionar soluciones prácticas para el balanceo de líneas

2.3.3. Métodos Metaheurísticos

Los métodos metaheurísticos son estrategias de búsqueda de alto nivel que guían algoritmos d

Algoritmo de las Abejas (Bees Algorithm - BA / Artificial Bee Colony - ABC): Inspirado en el

Adaptive Large Neighbourhood Search (ALNS): Es un algoritmo metaheurístico conocido por su f

Simulated Annealing (SA - Recocido Simulado): Inspirado en el proceso físico de recocido de

Tabu Search (TS - Búsqueda Tabú): Es una técnica de búsqueda estocástica basada en un enfoq

Algoritmos Genéticos (GA): Inspirados en el proceso de selección natural y la genética, los

Particle Swarm Optimization (PSO - Optimización por Enjambre de Partículas): Es un algoritmo

Ant Colony Optimization (ACO - Optimización por Colonia de Hormigas): Imita el comportamien

Los métodos metaheurísticos son particularmente prometedores para el balanceo de líneas de c

2.4. Aplicaciones de DLB en la Industria Alimentaria y Avícola (Contexto Actual)

La aplicación explícita del balanceo de líneas de desensamble en la industria avícola, espe

La optimización en la industria alimentaria ha evolucionado significativamente, pasando de e

En el procesamiento avícola, la automatización es vital para el control de calidad, la segun

Las líneas de deshuesado de pollo semi-automatizadas, como las líneas de cono, ya están en u

El balanceo de líneas de producción en general busca reducir el tiempo de inactividad, agili

Aunque la literatura específica sobre "balanceo de líneas de desensamble para carcasas de po

3. Antenproyecto: Balanceo de Líneas de Desensamble para Carcasas de Pollo

3.1. Justificación y Alcance del Antenproyecto

La creciente demanda de productos avícolas y la presión por operaciones más sostenibles y eficientes.

Este antenproyecto se propone abordar estas deficiencias mediante la aplicación de principios de balanceo de líneas.

La justificación de este antenproyecto se basa en varios puntos clave:

Mejora de la eficiencia operativa: Reducir el tiempo de inactividad y eliminar cuellos de botella.

Optimización del rendimiento y reducción de residuos: Un desensamble más preciso y eficiente.

Incremento de la seguridad alimentaria y calidad: Un flujo de línea balanceado y controlado.

Adaptabilidad a la variabilidad del producto: Desarrollar un modelo que pueda manejar las variaciones.

Contribución a la sostenibilidad: Al optimizar el uso de recursos y reducir el desperdicio, se contribuye a la sostenibilidad.

El proyecto no solo busca beneficios económicos a través de la eficiencia y el rendimiento, sino también mejorar la calidad y la sostenibilidad.

3.2. Propuesta Metodológica para el Antenproyecto

La metodología para este antenproyecto se estructurará en varias fases, desde la recopilación de datos hasta la implementación del modelo.

3.2.1. Recopilación y Análisis de Datos Específicos de Carcasas de Pollo

La primera fase implicará una recopilación exhaustiva de datos operativos de una línea de desensamble.

Tiempos de las tareas: Medición precisa de los tiempos requeridos para cada operación de desensamble.

Restricciones de precedencia: Identificación de la secuencia obligatoria en la que deben realizarse las operaciones.

Datos de variabilidad: Recopilación de datos sobre las variaciones en el tamaño, peso y morfología de las carcasas.

Factores de perecibilidad: Cuantificación de los tiempos máximos permitidos para el procesamiento.

Recursos disponibles: Información sobre el número de estaciones de trabajo, la capacidad de cada una y los recursos humanos.

El análisis de estos datos proporcionará una comprensión profunda de las operaciones existentes y los desafíos.

3.2.2. Modelado del Problema de DLB para Carcasas de Pollo

Se formulará un modelo matemático para el problema de balanceo de líneas de desensamble de carcasas de pollo.

Minimizar el número de estaciones de trabajo: Para reducir la inversión y los costos operativos.

Minimizar el tiempo de ciclo: Para maximizar la tasa de producción y manejar la perecibilidad.

Maximizar la eficiencia de la línea: Para asegurar una alta utilización de los recursos y minimizar los costos.

Minimizar la varianza de la carga de trabajo entre estaciones: Para asegurar un flujo suave

Maximizar el rendimiento del producto: Para obtener la mayor cantidad de cortes valiosos de

Consideraciones de sostenibilidad: Integrar métricas relacionadas con la reducción de residu

El modelo incorporará restricciones de precedencia de tareas, capacidad de las estaciones de

3.2.3. Selección y Adaptación de Algoritmos de Optimización

Dada la naturaleza NP-hard del problema y la necesidad de manejar múltiples objetivos y la

Se considerarán y adaptarán algoritmos como:

Adaptive Large Neighbourhood Search (ALNS): Conocido por su flexibilidad y robustas capacida

Multi-Objective Bees Algorithm (MOBA) / Artificial Bee Colony (ABC): Inspirado en el comport

Algoritmos Genéticos (GA): Su capacidad para trabajar con poblaciones de soluciones y evolu

Simulated Annealing (SA): Su capacidad para escapar de óptimos locales al aceptar soluciones

La selección final del algoritmo o la combinación de algoritmos se basará en su capacidad pa

3.2.4. Implementación y Validación

La metodología propuesta se implementará en un entorno de simulación computacional. Se gener

La validación del modelo y los algoritmos se realizará mediante:

Comparación de rendimiento: Se compararán las soluciones obtenidas con las configuraciones c

Análisis de sensibilidad: Se evaluará cómo los cambios en los parámetros de entrada (por ej

Validación con expertos de la industria: Se buscará la retroalimentación de ingenieros y ger

El proceso de validación buscará demostrar la eficacia del enfoque propuesto para mejorar la

3.3. Objetivos del Antenproyecto

Los objetivos específicos de este antenproyecto son:

Desarrollar un modelo de balanceo de líneas de desensamble multi-objetivo que considere la v

Adaptar y aplicar al menos dos algoritmos metaheurísticos (por ejemplo, ALNS, MOBA/ABC, GA)

Cuantificar los beneficios potenciales en términos de eficiencia de la línea (reducción del

Proponer directrices para la implementación práctica de las soluciones de balanceo de líneas

3.4. Entregables Esperados

Los principales entregables de este anteproyecto incluirán:

Un modelo matemático formal para el balanceo de líneas de desensamble de carcasas de pollo.

Implementaciones computacionales de los algoritmos de optimización seleccionados.

Resultados de simulaciones y análisis de rendimiento que demuestren la eficacia de las soluciones.

Un informe técnico detallado que describa la metodología, los resultados, las conclusiones y recomendaciones.

Diagramas de relaciones en lenguaje Mermaid que ilustren los conceptos clave y las interconexiones.

Tablas comparativas de la literatura y las metodologías de solución.

4. Tesuario (Glosario de Términos Clave)

Balanceo de Líneas (Line Balancing): Estrategia de producción que busca optimizar el tiempo

Balanceo de Líneas de Desensamble (DLB - Disassembly Line Balancing): Problema de asignación

Tiempo de Ciclo (Cycle Time - CT): El tiempo máximo permitido para que una estación de trabajo

Eficiencia de la Línea (Line Efficiency - E): Medida de la utilización de la línea de producción

Tiempo de Inactividad (Idle Time): Tiempo durante el cual un trabajador o una estación de trabajo

Restricciones de Precedencia (Precedence Constraints): Relaciones de orden que dictan que ciertas

NP-hard / NP-completo: Clases de problemas computacionales para los cuales no se conoce un algoritmo

Economía Circular (Circular Economy): Modelo económico que busca reducir el desperdicio y maximizar

Optimización Multi-Objetivo (MOO - Multi-Objective Optimization): Técnicas de optimización que

Heurísticas (Heuristics): Métodos basados en la lógica o el sentido común que buscan soluciones

Metaheurísticas (Metaheuristics): Estrategias de búsqueda de alto nivel que guían algoritmos de

Variabilidad del Producto (Product Variability): Diferencias en las características físicas de los

Perecibilidad (Perishability): Característica de los productos que tienen una vida útil limitada

Visión por Computadora (Computer Vision): Campo de la inteligencia artificial que permite a las

5. Tablas Comparativas

5.1. Comparativa de Papers Relevantes

La siguiente tabla resume algunos de los trabajos más relevantes encontrados en la literatura

Paper (ID del Snippet)	Enfoque Principal	Metodología de Solución	Objetivos de Optimización
Balanceo de línea de desensamble robótico dependiente de la secuencia (RDLBSD) para bombas			
Revisión del problema de balanceo de línea de desensamble (DLB) y sus variantes.			Revisión
Detección automatizada de carcassas de pollo en líneas de procesamiento usando visión por com			
Programación de desensamble para la industria cárnica con perecibilidad del producto.			Modelo
Optimización multi-objetivo (MOO) en la industria alimentaria.			RSM, ANNs, MOO. Maximizar ca
Balanceo de líneas de ensamble (ALB) y producción.			Algoritmo de agrupación robusto, algorit

5.2. Comparativa de Metodologías de Solución

La tabla a continuación compara las principales metodologías de solución utilizadas en el ba

Metodología	Descripción General	Ventajas	Desventajas	Aplicabilidad en DLB (Carcassas de Po
Métodos Exactos	Buscan la solución óptima global garantizada mediante enumeración sistemática			
Programación Lineal Entera (ILP)				Branch-and-Bound (B&B)
				Programación Dinámica

Métodos Heurísticos Basados en la lógica o el sentido común, buscan soluciones "suficientemente buenas".
Largest Candidate Rule, Kilbridge and Wester, Ranked Positional Weights

Métodos Metaheurísticos Estrategias de búsqueda de alto nivel que guían algoritmos de búsqueda.
Algoritmo de las Abejas (Bees Algorithm) / ABC, Adaptive Large Neighbourhood Search (ALNS)

6. Diagramas de Relaciones (Mermaid)

Los siguientes diagramas ilustran las relaciones clave entre los conceptos discutidos en el

Diagrama 1: Relación entre Economía Circular, Desensamble y la Industria Avícola

Este diagrama muestra cómo la Economía Circular impulsa las estrategias de recuperación de p

Fragmento de código

```
graph TD
    A[Economía Circular] --> B[Estrategias de Recuperación de Productos];
    B --> C[Reutilización, Reciclaje, Remanufactura];
    C --> D;
    D --> E[Optimización de Procesos];
    E --> F;
    F --> G[Industria Avícola (Carcassas de Pollo)];
    G --> H;
    G --> I;
    H & I --> F;
    A -- Impulsa --> F;
    D -- Aplicado a --> G;
    style A fill:#f9f,stroke:#333,stroke-width:2px
```

```

    style G fill:#ccf,stroke:#333,stroke-width:2px
Diagrama 2: Desafíos y Consideraciones en DLB para Carcasas de Pollo
Este diagrama detalla los desafíos específicos que surgen al aplicar el Balanceo de Líneas

```

Fragmento de código

```

graph TD
    A --> B{Desafíos Específicos};
    B --> C[Percibibilidad del Producto];
    B --> D;
    B --> E;
    B --> F;
    C --> G;
    D --> H[Complejidad en Visión por Computadora];
    E --> I;
    F --> J;
    G & H & I & J --> K;
    K --> A;
    style A fill:#ccf,stroke:#333,stroke-width:2px

```

Diagrama 3: Metodologías de Solución para DLB
Este diagrama presenta las tres categorías principales de metodologías de solución para los

Fragmento de código

```

graph TD
    A --> B[Métodos Exactos];
    A --> C[Métodos Heurísticos];
    A --> D[Métodos Metaheurísticos];
    B --> B1[Programación Lineal Entera];
    B --> B2;
    B --> B3;
    C --> C1;
    C --> C2;
    C --> C3;
    D --> D1;
    D --> D2;
    D --> D3;
    D --> D4;
    D --> D5[Algoritmos Genéticos (GA)];
    D --> D6;
    D --> D7[Ant Colony Optimization (ACO)];
    B -- Limitaciones --> L1[NP-Hard, Escalabilidad];
    C -- Limitaciones --> L2[No Optimalidad Garantizada];
    D -- Limitaciones --> L3[Ajuste de Parámetros, No Optimalidad Garantizada];
    L1 & L2 & L3 --> E;
    E --> A;

```

style A fill:#f9f,stroke:#333,stroke-width:2px

7. Conclusiones y Recomendaciones

El análisis del estado del arte y la propuesta de antenproyecto para el balanceo de líneas de

Se concluye que el balanceo de líneas de desensamble para carcasas de pollo es un problema de

Los métodos metaheurísticos, como el Adaptive Large Neighbourhood Search (ALNS) y el Multi-C

Recomendaciones:

Priorizar la investigación en modelado estocástico: Es crucial desarrollar modelos de DLB qu

Fomentar la colaboración interdisciplinaria: El éxito de este antenproyecto dependerá de la

Explorar la aplicación de gemelos digitales: La creación de gemelos digitales de las líneas

Desarrollar métricas de sostenibilidad específicas: Más allá de los objetivos económicos y c

Validación en entornos industriales reales: Una vez que los modelos y algoritmos propuestos

La aplicación exitosa del balanceo de líneas de desensamble en la industria avícola no solo

Fuentes usadas en el informe

mdpi.com

The Key Constituents, Research Trends, and Future Directions of the Circular Economy Applied

Se abre en una ventana nueva

arxiv.org

Synthetic Data Augmentation for Enhanced Chicken Carcass Instance Segmentation - arXiv

Se abre en una ventana nueva

mdpi.com

An Algorithm for Arranging Operators to Balance Assembly Lines and Reduce Operator Training

Se abre en una ventana nueva

researchgate.net

(PDF) Synthetic Data Augmentation for Enhanced Chicken Carcass Instance Segmentation

Se abre en una ventana nueva

bibliotekanauki.pl

OPTIMISATION OF SIMPLE ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM TYPE E: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Se abre en una ventana nueva

thaiscience.info

The U-line Assembly Line Balancing Problem - ThaiScience
Se abre en una ventana nueva

mdpi.com
A Predictive Approach for Disassembly Line Balancing Problems - MDPI
Se abre en una ventana nueva

corningdata.com
What is Production Line Balancing? - Corning Data
Se abre en una ventana nueva

frontiersin.org
A matrix approach to visually communicate simultaneously the environmental and health impact
Se abre en una ventana nueva

jbtc.com
Prime Cone Deboning Line - JBT Corporation
Se abre en una ventana nueva

making.com
Semi-automated poultry deboning system - Making.com
Se abre en una ventana nueva

ideas.repec.org
A comparative analysis of meta-heuristic methods on disassembly line balancing problem with
Se abre en una ventana nueva

pmc.ncbi.nlm.nih.gov
Production line balance problem identification and improvement ...
Se abre en una ventana nueva

mdpi.com
Advancing Optimization Strategies in the Food Industry: From ... - MDPI
Se abre en una ventana nueva

mdpi.com
Optimisation of Product Recovery Options in End-of-Life Product ...
Se abre en una ventana nueva

thaiscience.info
The Assembly Line Balancing Problem : Review articles - ThaiScience
Se abre en una ventana nueva

mdpi.com
Review of Metaheuristic Optimization Algorithms for Power Systems Problems - MDPI
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
Disassembly line balancing problem: a review of the state of the art ...
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
(PDF) Metaheuristic approach to assembly line balancing
Se abre en una ventana nueva

periodicos.capes.gov.br
A survey of the assembly line balancing procedures
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
A comparative study of exact methods for the simple assembly line ...
Se abre en una ventana nueva

delongs.com
10 Steps to Optimizing Poultry Processing - DeLong's Gizzard Equipment
Se abre en una ventana nueva

bornaplusturkey.com.tr
Poultry Production Optimization Processes: A Guide to Efficiency and Sustainability
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
Line balancing using heuristic procedure and simulation of assembly line - ResearchGate
Se abre en una ventana nueva

pubsonline.informs.org
Fast, Effective Algorithms for Simple Assembly Line Balancing ...
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
(PDF) Disassembly Scheduling for the Meat Processing Industry ...
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
A survey on meta-heuristics for solving disassembly line balancing ...
Se abre en una ventana nueva

mdpi.com
A Stochastic Sequence-Dependent Disassembly Line Balancing ...
Se abre en una ventana nueva

ideas.repec.org

Assembly-Line Balancing by Linear Programming - IDEAS/RePEc
Se abre en una ventana nueva

pubsonline.informs.org
Assembly-Line Balancing-Dynamic Programming with Precedence Constraints | Operations Research
Se abre en una ventana nueva

en.wikipedia.org
Branch and bound - Wikipedia
Se abre en una ventana nueva

lineview.com
How to Perfectly Balance a Manufacturing Line - Lineview Solutions
Se abre en una ventana nueva

pubsonline.informs.org
A Branch and Bound Algorithm for Assembly Line Balancing Problems with Formulation Irregularities
Se abre en una ventana nueva

chegg.com
Solved Line Balancing Method 1 -Largest Candidate Rule (pp. | Chegg.com
Se abre en una ventana nueva

thisisrishi.medium.com
Understanding Particle Swarm Optimization (PSO): From Basics to Brilliance | by Rishi Zirpe
Se abre en una ventana nueva

youtube.com
321 - What is Particle Swarm Optimization PSO? - YouTube
Se abre en una ventana nueva

scholarpedia.org
Artificial bee colony algorithm - Scholarpedia
Se abre en una ventana nueva

en.wikipedia.org
Ant colony optimization algorithms - Wikipedia
Se abre en una ventana nueva

upperinc.com
Ant Colony Optimization Explained: Insights & Applications - Upper Route Planner
Se abre en una ventana nueva

scribd.com
Kilbridge-Wester Heuristic For Line Balancing: C N I 1 in | PDF - Scribd
Se abre en una ventana nueva

butex.edu.bd

Balancing a Parallel Assembly Line Using Kilbridge and Wester Method: A Case Study on a Garment Industry

Se abre en una ventana nueva

dergipark.org.tr

A Tabu Search Algorithm for the Parallel Assembly Line Balancing Problem - DergiPark

Se abre en una ventana nueva

researchgate.net

(PDF) A Hybrid Tabu Search Method for Assembly Line Balancing - ResearchGate

Se abre en una ventana nueva

scispace.com

Using simulated annealing to solve a multiobjective assembly line balancing problem with parallel machines

Se abre en una ventana nueva

sites.gatech.edu

Simulated Annealing : Methods and Real-World Applications - OMSCS 7641

Se abre en una ventana nueva

citeseerx.ist.psu.edu

citeseerx.ist.psu.edu

Se abre en una ventana nueva

citeseerx.ist.psu.edu

A Genetic Algorithm for Bin Packing and Line Balancing - CiteSeerX

Se abre en una ventana nueva

en.wikipedia.org

Artificial bee colony algorithm - Wikipedia

Se abre en una ventana nueva

slideshare.net

Ranked Positional Weight Method | Management | PPTX | Business - SlideShare

Se abre en una ventana nueva

scribd.com

Assembly Line Balancing Using The Ranked Positional Weight Technique W. B. HELGESON, D. P. HARRIS

Archivo: notebookml.md

La industria alimentaria se enfrenta a una necesidad constante de optimización y eficiencia.

A continuación, se presenta un diagrama que relaciona los métodos de solución empleados en

```
```mermaid
graph LR
 subgraph Conceptos de Fabricación Aplicados
 A["Optimización de Procesos"] --> B(Métodos de Solución)
 end

 subgraph Métodos de Solución
 B --> C["Optimización Matemática (Exactos)"]
 B --> D["Heurísticas y Metaheurísticas"]
 B --> E["Simulación"]
 B --> F["Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático"]
 end

 subgraph "Optimización Matemática (Exactos)"
 C --> C1["Programación Lineal (LP)"]
 C --> C2["Programación Entera (IP) / MILP"]
 C --> C3["Programación Dinámica (DP)"]
 C --> C4["Programación por Metas (GP)"]
 C --> C5["Métodos de Ruta Más Corta"]
 C --> C6["Branch and Bound (BB)"]
 C --> C7["Paquetes de Programación Matemática (ej. GAMS-CPLEX)"]
 end

 subgraph Heurísticas y Metaheurísticas
 D --> D1["Heurísticas Clásicas (ej. LCR, RPW, COMSOAL)"]
 D --> D2["Algoritmos Genéticos (GA)"]
 D --> D3["Simulated Annealing (SA)"]
 D --> D4["Búsqueda Tabú (TS)"]
 D --> D5["Optimización por Colonia de Hormigas (ACO)"]
 D --> D6["Algoritmo de la Colonia de Abejas (ABC/MOBA)"]
 D --> D7["Optimización por Enjambre de Partículas (PSO)"]
 D --> D8["Búsqueda Adaptativa de Vecindarios Grandes (ALNS)"]
 D --> D9["Otros Metaheurísticas (ej. GSA, HA, WOA, ILS, HHA)"]
 end

 subgraph Simulación
 E --> E1["Simulación de Eventos Discretos (DES)"]
 E --> E2["Simulación Monte Carlo"]
 E --> E3["Software de Simulación (ej. Arena)"]
 end

 subgraph Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático
 F --> F1["Árboles de Decisión (ej. C4.5)"]
 F --> F2["Modelos de Clasificación (ej. Softmax Regression, Random Forests)"]
 end
```

```

F --> F3["Deep Learning (ej. YOLOv11-seg, Mask R-CNN)"]
F --> F4["Generación de Datos Sintéticos (ej. GANs, Blender)"]
F --> F5["Redes Neuronales Artificiales (ANNs)"]
F --> F6["Aprendizaje por Refuerzo (RL)"]
F --> F7["Sistemas Expertos"]
end

C1 -- Aplicado en --> G["Diseño de Cadena de Suministro, Formulación de Dietas, Flujo Óptimo"]
C2 -- Aplicado en --> H["Balanceo de Líneas de Ensamblaje y Desensamblaje (ALB/DLB)"]
C3 -- Aplicado en --> I["Balanceo de Líneas en U (U-line)"]
C4 -- Aplicado en --> J["Problemas de Scheduling, Optimización Multicriterio"]
C5 -- Aplicado en --> K["Balanceo de Líneas, Problemas de Ruteo"]
C6 -- Aplicado en --> L["ALB/DLB, Problemas de Optimización Combinatoria"]
C7 -- Aplicado en --> M["Modelos Matemáticos de DLB"]

D1 -- Aplicado en --> N["Balanceo de Líneas de Ensamblaje/Desensamblaje (ALB/DLB)"]
D2 -- Aplicado en --> O["ALB/DLB, Problemas Multi-objetivo, Scheduling"]
D3 -- Aplicado en --> P["ALB/DLB, Optimización de Procesos, Reducción de Área PLA"]
D4 -- Aplicado en --> Q["ALB/DLB, Problemas de Secuenciación Dependiente"]
D5 -- Aplicado en --> R["ALB/DLB, Optimización de Ruta, Problemas Multi-objetivo"]
D6 -- Aplicado en --> S["Optimización Robótica de Desensamblaje, ALB/DLB"]
D7 -- Aplicado en --> T["DLB, Problemas Multi-objetivo, Optimización de Redes"]
D8 -- Aplicado en --> U["Problemas de DLB Estocástico y Secuencialmente Dependiente"]
D9 -- Aplicado en --> V["Varias Aplicaciones de Optimización, incluyendo DLB"]

E1 -- Aplicado en --> W["Análisis de Rendimiento de Líneas de Producción, Identificación"]
E2 -- Aplicado en --> X["ALB/DLB Estocástico, Manejo de Incertidumbre"]
E3 -- Aplicado en --> Y["Modelado y Mejora de Líneas de Producción"]

F1 -- Aplicado en --> Z["Identificación de Problemas en Líneas de Producción"]
F2 -- Aplicado en --> Z
F3 -- Aplicado en --> AA["Segmentación de Imágenes (ej. Carcasas de Pollo)"]
F4 -- Aplicado en --> AB["Aumento de Datos para ML, Robótica"]
F5 -- Aplicado en --> AC["Modelado de Sistemas Complejos, Optimización de Recetas"]
F6 -- Aplicado en --> AD["Optimización de Líneas de Desensamblaje, Control de Procesos"]
F7 -- Aplicado en --> AE["Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisiones, Gestión de Producción"]

```

## Métodos de Solución Aplicados en la Industria Alimentaria y sus Contextos

Las fuentes revelan un amplio espectro de metodologías utilizadas para optimizar los procesos en la industria alimentaria, a menudo adaptando técnicas de fabricación general a sus necesidades específicas.

**1. Optimización Matemática (Métodos Exactos)** Estos métodos buscan la solución óptima garantizada para problemas definidos matemáticamente: \*

**Programación Lineal (LP) y Programación Entera (IP) / MILP:** Se utilizan para el **balanceo de líneas de ensamblaje (ALB)** y **desensamblaje (DLB)**, incluyendo modelos de **programación lineal entera mixta (MILP)** para problemas más complejos como el **balanceo de líneas en U orientado a beneficios**, y para **optimizar la cantidad de animales y cortes primarios** en la industria cárnica [“del conocimiento previo”]. También son aplicables en el **diseño de cadenas de suministro y formulación de dietas**. Un estudio propuso un modelo MILP para un problema de DLB parcial multi-producto con multi-robot. \* **Programación Dinámica (DP):** Se ha aplicado en el **balanceo de líneas en U**. \* **Programación por Metas (GP):** Mencionada como una técnica para ALB y **scheduling de desensamblaje** bajo incertidumbre. \* **Métodos de Ruta Más Corta:** Se emplean en el **balanceo de líneas de ensamblaje y desensamblaje**. \* **Branch and Bound (BB):** Usado para resolver ALB y **problemas de DLB estocástico**. \* **Paquetes de Programación Matemática (ej. GAMS-CPLEX):** Herramientas como GAMS-CPLEX se utilizan para **resolver modelos matemáticos de DLB** con restricciones de recursos.

**2. Heurísticas y Metaheurísticas** Dada la complejidad combinatoria de muchos problemas de optimización en la fabricación, las metaheurísticas son fundamentales para encontrar soluciones “suficientemente buenas” en un tiempo razonable. \* **Heurísticas Clásicas (ej. LCR, RPW, COMSOAL):** El **Ranked Positional Weight (RPW)** y la **Largest Candidate Rule (LCR)** son métodos heurísticos populares para el **balanceo de líneas de ensamblaje y desensamblaje**. **COMSOAL** también se ha utilizado en el balanceo de líneas, incluso en **líneas de modelos mixtos**. El **Método de Desviación Mínima (MDM)** se aplicó para combinar funciones objetivo en líneas de ensamblaje paralelas. \* **Algoritmos Genéticos (GA):** Son muy populares para el **balanceo de líneas de ensamblaje (ALB) y desensamblaje (DLB)**. Se utilizan para **optimización multi-objetivo** y problemas estocásticos. \* **Simulated Annealing (SA):** Aplicado al **balanceo de líneas en U, ALB multi-objetivo, DLB** y la **optimización de procesos** como la reducción de área en PLAs. \* **Búsqueda Tabú (TS):** Utilizado para el **balanceo de líneas de ensamblaje, DLB** y problemas de **DLB robótico híbrido multi-robot**. \* **Optimización por Colonia de Hormigas (ACO):** Aplicado al **DLB**, incluyendo problemas **secuencialmente dependientes**. \* **Algoritmo de la Colonia de Abejas (ABC / MOBA):** Usado para **optimización general, DLB**, y especialmente en la **optimización robótica de desensamblaje con múltiples objetivos (MOBA)** para maximizar beneficios, ahorro de energía y reducción de emisiones. \* **Optimización por Enjambre de Partículas (PSO):** Se utiliza para **DLB** y problemas de sistemas de energía. \* **Búsqueda Adaptativa de Vecindarios Grandes (ALNS):** Propuesto para resolver el **problema de balanceo de líneas de desensamblaje estocástico y secuencialmente dependiente (MO-SDDL)**. \* **Otros Metaheurísticas:** Incluyen algoritmos como la **Búsqueda Gravitacional (GSA)**, la **Optimización por Colonia**

de Luciérnagas (FFA), Búsqueda Cuckoo (CS), Optimización del Enjambre de Ballenas (WOA), Iterated Local Search (ILS), Optimización híbrida de Harris Hawks (HHa), entre otros, aplicados a una variedad de problemas de optimización.

**3. Simulación** La simulación es crucial para modelar y analizar el comportamiento de los sistemas de producción bajo diferentes condiciones. \* **Simulación de Eventos Discretos (DES)**: Ampliamente utilizada para el análisis del rendimiento de líneas de producción, la identificación de cuellos de botella y la evaluación de mejoras operativas. También se ha aplicado en la optimización de flujos de trabajo de mantenimiento y la gestión de sistemas metalúrgicos. \* **Simulación Monte Carlo**: Empleada para evaluar el rendimiento de líneas de ensamblaje estocásticas y para abordar las incertidumbres en los modelos de DLB. \* **Software de Simulación (ej. Arena)**: Se utiliza para modelar y mejorar líneas de producción, como las de ropa y para visualizar pasos de procesos de producción.

**4. Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático (IA/ML)** Las tecnologías de IA y ML están emergiendo como herramientas poderosas para la optimización y el control en la industria. \* **Árboles de Decisión (ej. C4.5)** y **Modelos de Clasificación (ej. Softmax Regression, Random Forests)**: Usados para la identificación de problemas en líneas de producción. \* **Deep Learning (ej. YOLOv11-seg, Mask R-CNN)**: Aplicado en la segmentación automatizada de carcassas de pollo en líneas de procesamiento, crucial para aplicaciones robóticas [“del conocimiento previo, 54”]. También se menciona el uso de **aprendizaje por refuerzo profundo** para el balanceo de líneas de desensamblaje multi-robóticas. \* **Generación de Datos Sintéticos (ej. GANs, Blender)**: Crucial para aumentar conjuntos de datos y entrenar modelos de IA/ML, especialmente cuando los datos reales son escasos o difíciles de anotar. Herramientas como Blender se utilizan para crear imágenes fotorrealistas y etiquetadas automáticamente. \* **Redes Neuronales Artificiales (ANNs)**: Efectivas para modelar sistemas complejos y mejorar la precisión predictiva, incluyendo la optimización de recetas y la reducción de residuos. \* **Aprendizaje por Refuerzo (RL)**: Se utiliza para la optimización y el control de líneas de desensamblaje. \* **Sistemas Expertos**: Empleados para el apoyo a la toma de decisiones y la gestión de la producción [“del conocimiento previo”].

La combinación de estos métodos, especialmente a través de **enfoques híbridos y la optimización multi-objetivo (MOO)**, es una tendencia creciente para equilibrar objetivos en conflicto como costos, calidad y sostenibilidad. La literatura destaca una brecha entre la investigación teórica y la implementación práctica, impulsada por la naturaleza perecedera de los productos y los bajos márgenes de beneficio en la industria alimentaria [“del conocimiento previo”]. Sin embargo, la **Industria 4.0** con el **Internet de las Cosas (IoT)**, el análisis de **big data** y los **gemelos digitales** promete monitoreo y optimización en tiempo

real, alineando los procesos de producción con los objetivos de sostenibilidad e innovación [“del conocimiento previo”].

A continuación, se presenta una tabla comparativa sobre la cantidad de artículos por tipo de problema, método de solución y otras características relevantes, extrayendo información directamente de las fuentes proporcionadas:

Categoría	Subcategoría	Cantidad	Fuente(s)	Notas
<b>Tipo de Problema de Balanceo de Líneas</b>	Problema de Balanceo de Líneas	<b>12 artículos</b>		Basado en una revisión de 13 artículos relacionados con SALBP-E publicados entre 1999 y 2023.
	Línea de modelo único (Single-model Line)	<b>1 artículo</b>		Basado en una revisión de 13 artículos relacionados con SALBP-E publicados entre 1999 y 2023.
	Línea de modelo mixto (Mixed-model Line)	<b>0 artículos</b>		Basado en una revisión de 13 artículos relacionados con SALBP-E publicados entre 1999 y 2023. Este tipo no ha recibido mucha atención en la investigación.
	Línea multimodo (Multi-model Line)	<b>0 artículos</b>		Basado en una revisión de 13 artículos relacionados con SALBP-E publicados entre 1999 y 2023. Este tipo no ha recibido mucha atención en la investigación.
	Problema de Desensamblaje (ALB)	<b>~96%</b>		De la literatura sobre problemas de balanceo de líneas de desensamblaje, debido a la complejidad de la problemática.

Categoría	Subcategoría	Cantidad	Fuente(s)	Notas
<b>Criterios de Objetivo</b>				(Según Ghosh y Gagnon, 1989, con un total de 58 estudios analizados)
Frecuencia de uso (Total 58 estudios)	Minimizar el número de estaciones de trabajo (dado el tiempo de ciclo)	<b>21 es-tudios</b>		
	Minimizar el tiempo de ciclo (dado el número de estaciones de trabajo)	<b>16 es-tudios</b>		
	Minimizar el tiempo total de inactividad a lo largo de la línea	<b>12 es-tudios</b>		
	Minimizar el retraso de equilibrio	<b>3 es-tudios</b>		
	Minimizar la longitud total de la instalación o línea	<b>2 es-tudios</b>		
	Minimizar el tiempo de rendimiento	<b>1 es-tudio</b>		
	Minimizar la probabilidad de que una o más estaciones de trabajo excedan el tiempo de ciclo	<b>3 es-tudios</b>		
Objetivos Comunes del SALBP-E	Minimizar la capacidad de la línea	Frecuentemente encontrado		Los estudios buscan reducir las diferencias entre las cargas de trabajo de las estaciones.

Categoría	Subcategoría	Cantidad	Fuente(s)	Notas
<b>Métodos de Solución</b>	Maximizar la eficiencia de la línea	Frecuentemente en-		
		con-		
		trado		
	Maximizar la suavidad de la carga de trabajo	Frecuentemente en-		
		con-		
		trado		
	Métodos Clasificación y	<b>24</b>		(Según Ghosh y Gagnon, 1989)
	Inex- asignación por	<b>es-</b>		
	actos prioridad	<b>tu-</b>		
	o	<b>dios</b>		
	Heurís-			
	ticos			
	(Total			
	52			
	estu-			
	dios)			
	Búsqueda de	<b>9 es-</b>		
	árbol (BB	<b>tu-</b>		
	heurístico)	<b>dios</b>		
	Intercambio y	<b>4 es-</b>		
	transferencia	<b>tu-</b>		
		<b>dios</b>		
	Muestreo	<b>4 es-</b>		
	aleatorio	<b>tu-</b>		
		<b>dios</b>		
	Otros	<b>11</b>		
	(agrupación de	<b>es-</b>		
	tareas, técnicas	<b>tu-</b>		
	de aproximación)	<b>dios</b>		
	Métodos Exacto (ej.	<b>1</b>		
	para Ramificación y	<b>artículo</b>		
	SALBP- Poda)			
	E			
	(1999-			
	2023)			
			De una selección de artículos revisados en la Tabla 1 del estudio de optimización de SALBP-E.	



Categoría	Subcategoría	Cantidad	Referencias	Notas
	Metaheurístico (ej. Algoritmos Genéticos (GA), Optimización por Colonia de Hormigas (ACO))	<b>7 artículos</b>		De una selección de artículos revisados en la Tabla 1 del estudio de optimización de SALBP-E.
	Heurístico (ej. basado en Redes de Petri (PN), Procedimientos Iterativos Mejorados (IP/EIP))	<b>2 artículos</b>		De una selección de artículos revisados en la Tabla 1 del estudio de optimización de SALBP-E.
	Herramienta de Software (ej. Excel, CPLEX)	<b>2 artículos</b>		De una selección de artículos revisados en la Tabla 1 del estudio de optimización de SALBP-E.
Métodos para Balanceo de Líneas de Densamblaje Robóticas	Uso de Metaheurístico	<b>Presente en 30 de 39 referencias</b>		Indica que la característica es utilizada en los estudios listados, no un recuento de artículos únicos.
	Uso de Sostenibilidad como objetivo	<b>Presente en 22 de 39 referencias</b>		Indica que la característica es utilizada en los estudios listados, no un recuento de artículos únicos.

Categoría	Subcategoría	Cantidad / Fuente(s)	Notas
	Uso de Múltiples Objetivos (MO-ND)	<b>Presente en 24 de 39 ref- er- en- cias</b>	Indica que la característica es utilizada en los estudios listados, no un recuento de artículos únicos.
	Dependiente de la secuencia (ej. tiempos de eliminación de piezas dependientes de la secuencia)	<b>Presente en 21 de 39 ref- er- en- cias</b>	Indica que la característica es utilizada en los estudios listados, no un recuento de artículos únicos.
Métodos de Solución para Programación de Desensamblaje	MRP Inverso (óptimo)	<b>Mencionado como método</b>	Un algoritmo que transforma la demanda de ítems hoja en demanda equivalente para ítems padre.
	Heurístico	<b>Mencionado como método</b>	Enfoques para encontrar soluciones rápidas y suficientemente buenas.
	Ramificación y poda (Branch and Bound)	<b>Mencionado como método</b>	Un algoritmo exacto para problemas de desensamblaje.
	Algoritmo Polinomial	<b>Mencionado como método</b>	Un tipo de algoritmo de solución.
	Modelo Petri-net	<b>Mencionado como método</b>	Utilizado para el balanceo de líneas de desensamblaje.

Categoría	Subcategoría	Cantidad/Ente(n)s	Notas
<b>Configuración de Línea</b>	Programa de metas difusas (Fuzzy Goal Programme)	<b>Mencionado como método</b>	Un enfoque para la toma de decisiones multicriterio en sistemas de desensamblaje.
	Líneas rectas	<b>84%</b>	Son la configuración más común en los resultados de investigación.

### Archivo: txyz.md

Usuario: (1) Investigar los conceptos fundamentales de ‘balanceo de líneas de desensamblaje’ y ‘procesamiento de carcasas de pollo’ para establecer un tesuario inicial y comprender el dominio. (2) Realizar búsquedas exhaustivas en Scopus, IEEE Xplore y ScienceDirect para identificar artículos científicos, tesis y conferencias relevantes sobre el balanceo de líneas de desensamblaje, específicamente aplicadas a productos orgánicos o cárnicos, y en particular a carcasas de pollo. (3) Analizar los papers encontrados para extraer información clave sobre las metodologías de solución propuestas, los modelos matemáticos utilizados, los algoritmos de optimización aplicados, los resultados obtenidos y las limitaciones identificadas en cada estudio. (4) Elaborar tablas comparativas detalladas de los papers más relevantes, destacando sus objetivos, metodologías, resultados principales y contribuciones al campo. (5) Crear tablas comparativas de las diferentes metodologías de balanceo de líneas de desensamblaje identificadas, destacando sus ventajas, desventajas, aplicabilidad, complejidad y el tipo de problemas que abordan. (6) Sintetizar la información recopilada para construir el estado del arte, identificando las tendencias actuales, las brechas de investigación, los desafíos no resueltos y las oportunidades futuras en el balanceo de líneas de desensamblaje para carcasas de pollo. (7) Desarrollar un anteproyecto de investigación que proponga un enfoque o metodología para abordar una de las brechas o desafíos identificados en el estado del arte, incluyendo objetivos, justificación, alcance y una posible metodología de solución. (8) Generar diagramas de relaciones que ilustren la interconexión entre los conceptos clave del tesuario, las metodologías de solución y los temas emergentes identificados en el estado del arte.

Respuesta: TXYZ: Comprendo que necesitas una investigación exhaustiva sobre el balanceo de líneas de desensamblaje, con un enfoque específico en el procesamiento de carcasas de pollo. Este es un proyecto ambicioso con múltiples etapas, y me centraré en la primera parte, que es la investigación de los conceptos fundamentales y las búsquedas iniciales.

## 1. Conceptos Fundamentales: Balanceo de Líneas de Desensamble y Procesamiento de Carcasas de Pollo

Para establecer un tesoro inicial y comprender el dominio, es crucial definir los conceptos clave:

- **Balanceo de Líneas de Desensamble (Disassembly Line Balancing - DLB):**
  - **Definición:** El balanceo de líneas de desensamble es un problema de optimización que busca asignar tareas de desensamble a estaciones de trabajo de manera eficiente, minimizando el tiempo de ciclo, el número de estaciones ociosas, o el número de estaciones de trabajo, mientras se respetan las precedencias de las tareas y las restricciones de capacidad de las estaciones. A diferencia de las líneas de ensamble, donde se agregan componentes para formar un producto, en las líneas de desensamble se separan componentes de un producto existente, a menudo con el objetivo de reciclaje, reutilización, remanufactura o eliminación segura.
  - **Objetivos clave:** Maximizar la eficiencia, minimizar costos operativos, optimizar la utilización de recursos, cumplir con objetivos de producción.
  - **Tipos de problemas de DLB:** Pueden variar según el tipo de producto, la aleatoriedad de los productos de entrada, los objetivos de rendimiento, y las restricciones de las estaciones de trabajo (por ejemplo, habilidades, herramientas).
  - **Importancia:** Crucial para la economía circular, la gestión de residuos y la eficiencia en industrias donde se desarma un producto.
- **Procesamiento de Carcasas de Pollo:**
  - **Definición:** Se refiere a las operaciones que transforman una carcasa de pollo completa en productos cárnicos procesados (por ejemplo, cortes específicos como pechugas, muslos, alas), subproductos (como menudencias, huesos) o productos de valor agregado. Este proceso implica una serie de etapas de desensamble y procesamiento.
  - **Etapas típicas:** Incluyen escaldado, desplume, evisceración, enfriamiento, corte primario (separación de las partes principales como pechuga, muslos/contramuslos, alas), corte secundario (deshuesado, recorte), y envasado.
  - **Consideraciones específicas:** La variabilidad natural de las carcasas (tamaño, peso), la necesidad de cumplir con estrictas normas de higiene y seguridad alimentaria, la perecibilidad del producto, y la generación de subproductos.
  - **Contexto en DLB:** El procesamiento de carcasas de pollo es un ejemplo complejo de línea de desensamble debido a la naturaleza biológica del producto, la necesidad de mano de obra calificada para ciertas tareas de corte, y la inherente variabilidad que dificulta un balanceo perfecto de las tareas.

### **Tesoro Inicial:**

- **Términos clave:** Balanceo de línea de desensamble, DLB, procesamiento de carcasas de pollo, industria avícola, optimización de líneas, asignación de tareas, secuenciación de tareas, estaciones de trabajo, tiempo de ciclo, eficiencia, sostenibilidad, economía circular, remanufactura, reciclaje.
- **Conceptos relacionados:** Ingeniería industrial, investigación de operaciones, algoritmos de optimización (heurísticas, metaheurísticas, programación matemática), gestión de la producción, cadena de suministro.

## **2. Búsquedas Exhaustivas en Bases de Datos Académicas**

Para realizar las búsquedas, utilizaremos Google Scholar como un primer acercamiento amplio, dada su capacidad para indexar Scopus, IEEE Xplore y ScienceDirect, entre otras. Se recomienda luego, si se tiene acceso directo, refinar en cada base de datos para aprovechar sus funcionalidades específicas.

A continuación, presento las estrategias de búsqueda y un ejemplo de cómo se realizaría una búsqueda inicial.

### **Estrategias de Búsqueda:**

Utilizaremos una combinación de palabras clave relacionadas con el balanceo de líneas de desensamble y el procesamiento de productos orgánicos/cárnicos, especialmente carcasas de pollo.

- **Palabras clave para Balanceo de Líneas de Desensamble:**
  - “disassembly line balancing”
  - “DLB”
  - “disassembly optimization”
  - “reverse assembly line”
  - “line balancing” (cuando se combina con “disassembly” o “poultry”)
- **Palabras clave para Productos Orgánicos/Cárnicos (específicamente pollo):**
  - “poultry processing”
  - “chicken carcass”
  - “meat processing”
  - “organic product disassembly”
  - “food processing line”
  - “poultry cutting”
  - “chicken deboning”

### **Combinaciones de Búsqueda (Ejemplos para Google Scholar):**

A continuación, te proporciono ejemplos de consultas que se pueden utilizar para las bases de datos académicas. Puedes ajustar los años (`as_ylo`, `as_yhi`) según sea necesario para buscar desarrollos recientes o históricos.

Los resultados iniciales de las búsquedas muestran algunas referencias relevantes, aunque no todas están directamente enfocadas en “disassembly line balancing”

y “poultry processing” al mismo tiempo. Es importante revisar los snippets y los títulos para determinar su relevancia.

Por ejemplo, la búsqueda "chicken carcass" AND "disassembly line" arrojó un par de resultados () que hablan sobre la alteración de la carcasa de pollo por las demandas de la línea de desensamble, lo cual es relevante para el procesamiento.

La búsqueda "meat processing" AND "disassembly line balancing" arrojó un par de artículos y que mencionan el balanceo de línea de desensamble en el contexto de procesamiento de carne y también un artículo que menciona “Multi-objective human-robot collaborative disassembly line balancing”, aunque no directamente en carne.

La búsqueda de "poultry processing" AND "line balancing" arrojó algunos resultados interesantes. Uno se centra en la minimización de “giveaway” y “underweight” en el proceso de proporcionamiento de aves de corral, lo que implica una optimización de la línea de procesamiento. Otro menciona la optimización combinada de balanceo de línea y proceso en sistemas de procesamiento de aves de corral.

#### **Siguientes pasos para la investigación (siguiendo tus puntos):**

Los resultados proporcionados son solo un punto de partida. Para cumplir con los puntos 3 a 8 de tu solicitud, se requeriría:

- **Análisis detallado de los papers:** Acceder y leer los artículos completos para extraer la información clave (metodologías, modelos matemáticos, algoritmos, resultados, limitaciones). Esto no es posible con mi funcionalidad actual, que se limita a proporcionar resúmenes y enlaces.
- **Elaboración de tablas comparativas:** Una vez que se tenga la información detallada de varios papers, se podrían construir las tablas comparativas solicitadas.
- **Sintetizar el estado del arte y desarrollar un anteproyecto:** Esto requeriría una comprensión profunda y la síntesis de la literatura recopilada, así como la identificación de brechas y la propuesta de una nueva investigación, lo cual está fuera del alcance de una sola interacción de búsqueda.
- **Generación de diagramas de relaciones:** Esto implicaría una fase de análisis y diseño posterior a la revisión de la literatura.

#### **Recomendaciones para las siguientes fases:**

Para las fases 3, 4, 5, 6, 7 y 8, el proceso sería el siguiente:

1. **Acceso a las bases de datos:** Utiliza tus credenciales institucionales para acceder a Scopus, IEEE Xplore y ScienceDirect.
2. **Refinar búsquedas:** Una vez dentro de cada base de datos, utiliza las palabras clave proporcionadas y las funcionalidades avanzadas de cada

plataforma (filtros por tipo de documento, año, afiliación, etc.) para afinar aún más los resultados.

3. **Descargar y organizar:** Descarga los artículos más relevantes y organízalos (por ejemplo, en un gestor de referencias como Zotero o Mendeley).
4. **Lectura crítica y extracción de datos:** Lee cada artículo en detalle, identificando los elementos clave que mencionaste (metodologías, modelos, algoritmos, resultados, limitaciones). Considera usar una plantilla o una hoja de cálculo para sistematizar la extracción de datos.
5. **Análisis y síntesis:** Una vez que tengas los datos de varios artículos, podrás realizar el análisis comparativo, identificar tendencias, brechas y oportunidades.
6. **Desarrollo del anteproyecto y diagramas:** Con una visión clara del estado del arte, podrás proponer tu anteproyecto de investigación y conceptualizar los diagramas de relaciones.

Espero que este primer paso te sea de gran utilidad para tu investigación. A  
capacitated disassembly scheduling problem considering processing technology  
selection and parts commonality Disassembly scheduling: literature review  
and future research directions Industrial Robots and Collaborative Robots: A  
Comparative Study A Chicken, Part I Protein Machines, Technology, and the  
Nature of the Future The minimisation of giveaway and underweight in poultry  
portioning process Trends in food packaging and manufacturing systems  
and technology The ills of multi-person workplaces—Reflecting negatively on  
quality and employee well-being: A cellular fix Improving the Steel Household  
Appliances Production Through Simulation and Gray Proximity Indexed Value  
Scope of improvement in assembly-line of FMCG industries through ergonomic  
design

### Archivo: GPT/anteproyecto.md

## Anteproyecto: Optimización del Balanceo de Línea de Desensamble de Carcasas de Pollo

### 1. Introducción

Presentación del problema y contexto industrial de líneas de despiece avícola.

### 2. Estado del Arte

Resumen de la literatura sobre DLBP y uso de Algoritmos Genéticos.

### 3. Pregunta de Investigación

¿Cómo optimizar el balanceo de la línea de desensamble de carcasas de pollo utilizando algoritmos genéticos para minimizar estaciones y tiempo ocioso, maxi-

mizando el aprovechamiento de la carcasa?

#### **4. Justificación**

- Técnica: amplía el uso de GA en la industria alimentaria.
- Económica: reducción de costos operativos y mayor rendimiento.
- Ambiental: menor desperdicio y consumo energético.

#### **5. Objetivos**

##### **5.1. Objetivo General**

Desarrollar un GA para optimizar el balanceo de la línea de desensamble.

##### **5.2. Objetivos Específicos**

1. Modelar matemáticamente el proceso.
2. Implementar y parametrizar el GA.
3. Comparar con métodos tradicionales.
4. Analizar sensibilidad y robustez.
5. Formular recomendaciones operativas.

#### **6. Metodología**

Descripción de recolección de datos, codificación del GA, experimentación y análisis comparativo.

#### **7. Resultados Esperados**

Reducción de estaciones, mejora en eficiencia (>90%), incremento de throughput y aprovechamiento de carcasa.

#### **8. Bibliografía**

Consulta el archivo `references.bib` para las citas en formato BibTeX.

### Archivo: GPT/anteproyecto (1).md

## **Anteproyecto de Investigación**

### **Título**

**Optimización del Balanceo de Línea de Desensamble de Carcasas de Pollo mediante Algoritmo Genético**



## 1. Introducción

El equilibrio eficiente de líneas de desensamble en plantas avícolas es crucial para maximizar la productividad y minimizar desperdicios. A diferencia del ensamble, el DLBP (Disassembly Line Balancing Problem) enfrenta retos de **secuencias lógicas de corte, variabilidad anatómica y condiciones destructivas** de las piezas(Ozceylan2019?). Aunque existen estudios de simulación en despiece de pollo(Pisuchpen2016?), faltan enfoques de **optimización metaheurística** aplicados específicamente a carcassas avícolas.

## 2. Estado del Arte

Investigaciones relevantes incluyen: - **Revisiones DLBP**: Ozceylan et al. (2019) describen enfoques y tendencias, destacando metaheurísticos como GA, ACO y PSO(Ozceylan2019?). - **Metaheurísticos Avanzados**: Mete et al. (2023) comparan GA vs SA bajo tiempos estocásticos, mostrando la superioridad de GA(Mete2023?). Liu & Wang (2017) integran criterios ambientales con D-ABC multiobjetivo(Liu2017?). - **Aplicaciones Cárnicas**: Pisuchpen & Ongkunaruk (2016) emplean simulación Arena para una planta de pollo, con mejora de eficiencia y ahorro(Pisuchpen2016?).

La bibliografía revela la eficacia de GA y la necesidad de adaptarlo al contexto avícola para aprovechar su **flexibilidad y desempeño robusto**.

## 3. Pregunta de Investigación

**¿Cómo optimizar el balanceo de la línea de desensamble de carcassas de pollo utilizando Algoritmos Genéticos para minimizar estaciones y tiempo ocioso, maximizar el aprovechamiento de la carcasa y garantizar robustez ante variaciones anatómicas?**

## 4. Justificación

- **Científica**: Amplía la aplicación de GA a un sector poco explorado, contribuyendo al cuerpo de conocimiento del DLBP.
- **Económica**: Mejora la productividad de planta, reduce costos laborales y aumenta el rendimiento de producto.
- **Ambiental**: Disminuye desperdicios orgánicos y consumo energético, favoreciendo prácticas de economía circular(Yang2024?).

## 5. Objetivos

### 5.1 Objetivo General

Desarrollar y validar un Algoritmo Genético para el balanceo óptimo de la línea de desensamble de carcassas de pollo.

## 5.2 Objetivos Específicos

1. **Modelar** el proceso de despiece definido tareas, tiempos y precedencias.
2. **Implementar** el GA con codificación y operadores adaptados a restricciones avícolas.
3. **Parametrizar** el algoritmo mediante diseño experimental.
4. **Comparar** resultados contra heurísticos clásicos y estado actual.
5. **Evaluar** robustez ante variaciones en datos y escenarios multi-modelo.
6. **Recomendar** configuraciones operativas basadas en resultados cuantitativos.

## 6. Metodología

1. **Recolección de datos:** Tiempos elementales de cada corte en planta real.
2. **Modelado matemático:** Formulación del DLBP con precedencias AND/OR y restricciones de ciclo.
3. **Desarrollo de GA:**
  - Codificación: Representación cromosómica de asignación de tareas
  - Operadores: Cruce de un punto, mutación por intercambio, reparación de precedencias
  - Función de aptitud: Minimiza estaciones y tiempo ocioso, maximiza aprovechamiento
4. **Validación:** Pruebas en instancias de referencia y casos reales
5. **Optimización de parámetros:** Análisis de sensibilidad de población, tasas de cruce/mutación
6. **Comparativa:** GA vs RPW, Recocido Simulado y línea actual
7. **Análisis de robustez:** Variaciones en tiempo de ciclo, tamaño de aves, demandas de corte
8. **Elaboración de recomendaciones:** Plan de implementación operativo

## 7. Cronograma Resumido

Fase	Duración
Recolección de datos	1 mes
Modelado y codificación	1.5 meses
Pruebas y parametrización	2 meses
Comparativas y análisis	1.5 meses

Fase	Duración
Redacción y difusión	1 mes

## 8. Resultados Esperados

- **$\leq 8$  estaciones** vs línea actual (10-12)
- **Uso de tiempo  $\geq 90\%$**  por estación
- **Aprovechamiento de carcasa  $\geq 98\%$**
- Evidencia cuantitativa de ahorro de costos (+15%) y reducción de desperdicios

## 9. Limitaciones

- Datos específicos de la planta; resultados pueden variar en otras instalaciones
- No se incorpora automatización robótica en primera fase

## 10. Referencias

Consulte `references.bib` para las citas completas (([Liu2017?](#); [Mete2023?](#); [Yang2024?](#); [Ozceylan2019?](#))).

### Archivo: GPT/search\_analysis.md

# Investigación del Estado del Arte: Balanceo de Líneas de Desensamble de Carcasas de Pollo

## 1. Proceso de Búsqueda

Se realizaron búsquedas en Scopus, ScienceDirect y IEEE Xplore con las siguientes ecuaciones: - “disassembly line balancing” AND poultry - “assembly line balancing” AND “poultry” - “disassembly line balancing” AND “carcass” - “balanceo línea desensamble carcasas de pollo”

## 2. Hallazgos y Comparativa

Artículo (Año)	Contexto / Tipo de problema	Método de Optimización	Resultados Clave
Pisuchpen & Ongkunaruk (2016)	Línea de corte de pollo	Simulación Arena + ECRS	Reduce tiempo de ciclo y personal (ahorro significativo)
Mete et al. (2023)	DLBP estocástico	Algoritmo Genético vs SA	GA supera consistentemente a SA y modelos exactos
Liu & Wang (2017)	Tiempos secuencia-dependiente	D-ABC multiobjetivo	D-ABC mejor que 9 métodos previos en eficiencia y ambiente
Rodríguez et al. (2020)	Desensamble de cartuchos	Heurístico + Programación Entera	Balanceo óptimo con altos índices de eficiencia
Zhu et al. (2025)	DLBP secuencia-dependiente	ALNS adaptativo	+21% en soluciones Pareto, +8% hiper-volumen
Shen et al. (2024)	Colaboración Humano-Robot	Bees Algorithm discreto	-10% longitud de línea U; viabilidad de células cooperativas
Yang et al. (2024)	Desensamble parcial multiobjetivo	GA multiobjetivo	Equilibrio profit-emisiones; trade-off optimizado
He et al. (2022)	Multi-product DLBP	Group Teaching Optimization	Convergencia mejorada vs GA estándar
Piewthongngam et al. (2019)	Industria cárnica (cerdos)	Heurísticas + programación	Mejor ganancias considerando perecibilidad
Otros (2015–2023)	Electrónica, automotriz, etc.	PSO, ACO, DE, híbridos	Metaheurísticos híbridos rinden mejor en problemas grandes

### 3. Selección del Método Óptimo

Se identificó el **Algoritmo Genético (GA)** como el enfoque más promisorio debido a su flexibilidad, eficacia y resultados consistentes en el DLBP.

### 4. Gráfico de Relaciones (Mermaid)

```
graph LR
 A[Balanceo de DLBP] --> B[Optimización Metaheurística]
 A --> C[Desensamble de Pollos]
 B --> B1[Algoritmo Genético GA]
 B --> B2[Recocido Simulado, Tabú]
 B --> B3[ACO, PSO, Bees]
 C --> C1[Cortes y Precedencias]
 C --> C2[Estaciones y Personal]
 B3 --> B31[Colonia de Hormigas]
 B3 --> B32[Enjambre de Partículas]
 B3 --> B33[Algoritmo de Abejas]
```

### 5. Conexión con Bibliografía

Todas las referencias en formato BibTeX se encuentran en el archivo `references.bib`.

### Archivo: GPT/search\_analysis (1).md

## Investigación del Estado del Arte: Balanceo de Líneas de Desensamble de Carcasas de Pollo

### 1. Estrategias de Búsqueda

Se realizaron búsquedas sistemáticas (2015–2025) en: - **ScienceDirect**: “disassembly line balancing” AND poultry - **Scopus**: “assembly line balancing” AND poultry; refinado a “disassembly line” AND carcass - **IEEE Xplore**: “disassembly line balancing” AND (optimization OR algorithm) - Búsquedas en español: “balanceo línea desensamble carcasas de pollo”

Se incluyeron solo artículos de acceso público y estudios generales aplicables al procesamiento cárnico.

### 2. Tabla Comparativa de 30 Artículos

Autor(es) Clave (Año)	Contexto / Tipo de problema	Método de Optimización	Resultados Clave
Liu2017 Tu & Wang (2017)	Desensamble secuencia- dependiente	D-ABC multiobjetivo	Superior a 9 métodos previos en eficiencia y menor impacto ambiental
Metev2023 et al. (2023)	DLBP estocástico	GA vs SA vs modelo exacto	GA supera consistentemente a SA y métodos exactos
Paprocka2022 & Skołod (2022)	DLBP predictivo	Modelo de predicción + balanceo	Mejora fiabilidad y eficiencia basadas en predicción estocástica de tiempos
Zhu2025 et al. (2025)	DLBP secuencia- dependiente	ALNS adaptativo multiobjetivo	+21% soluciones Pareto, +8% hiper-volumen
Guler2024 et al. (2024)	Revisión parcial DLBP	Estado del arte	Identifica tendencias en líneas semiautomatizadas y criterios ambientales
Tasoglu2023 et al. (2023)	Redes de logística inversa + DLBP simultáneo	Simulación + GA	Demuestra viabilidad de optimizar red e línea simultáneamente
Piewtlak2019 et al. (2019)	Industria cárnica (cerdos)	Heurísticas + programación entera	Mejora de ingresos ~5% considerando percebilidad
Rodríguez2020 Picón et al. (2020)	Desensamble de cartuchos	Heurístico inicial + programación entera binaria	Balanceo óptimo con índices de eficiencia elevados
Wang2021 et al. (2021)	DLBP paralelo parcial	GA combinado con SA	Convergencia más rápida y soluciones de alta calidad
Cil2020 et al. (2020)	Robótica en DLBP	ACO para balanceo robótico	ACO supera heurísticos básicos en asignación de tareas a robots
Liu2020 et al. (2020)	Colaboración humano- robot	Bees Algorithm discreto	Mejora flujo de trabajo mixto humano-robot y rendimiento de línea
Ozceylan2019 et al. (2019)	Revisión DLBP	Estado del arte	Síntesis de enfoques exactos, heurísticos y metaheurísticos desde 2000 a 2019

Autor(es) Clave (Año)	Contexto / Tipo de problema	Método de Optimización	Resultados Clave
Deniz 2019 Deniz & Ozcelik (2019)	DLBP con criterios de múltiple	ELECTRE + heurística	Propuesta de criterio de elección multicriterio para asignación de tareas
Liang 2023 Liang et al. (2023)	Consumo energético & profit DLBP multi- paralelo	Modelo matemático + heurístico híbrido	Balanceo eficiente optimizando energía y beneficio económico
Yang 2024 Yang et al. (2024)	DLBP parcial mul- tiobjetivo	GA multiobjetivo	Trade-off óptimo entre profit y emisiones de carbono
Shen 2024 Shen et al. (2024)	DLBP colaborativo humano- robot	Multiobjetivo Bees Algorithm	-10% longitud de línea U; viabilidad de células cooperativas
Xiao 2021 Xiao et al. (2021)	DLBP robusto contra incer- tidumbre	Migrating Birds Optimization	Alta robustez ante variaciones en tiempos de tarea
Zhao 2023 Zhao et al. (2023)	DLBP con compo- nentes peligrosos	Brainstorming Optimizer mejorado	Mejora en tiempos de convergencia y calidad de soluciones en escenarios riesgosos
Tang 2024 Tang et al. (2024)	Configuraciones de estación distintas	Modelado unificado + GA multiobjetivo	Flexibilidad para líneas con estaciones heterogéneas
Zhang 2022 Zhang et al. (2022)	Convergencia GA + clustering	Brainstorming + K-means	Reducción de iteraciones para alcanzar soluciones de alta calidad
He 2022 He et al. (2022)	DLBP multi- producto	Group Teaching Optimization	Mejor convergencia y diversidad de soluciones comparado con GA estándar
Lu 2023 Lu et al. (2023)	DLBP energética- mente eficiente	Heurístico robótico + secuenciación	Ahorro de energía en líneas de desensamble de electrodomésticos
Kucuk 2017 Kucuk, Koc & Zhang (2017)	DLBP con trabajadores móviles	Modelado agente + heurísticas	Manejo efectivo de tiempos de desplazamiento entre estaciones

Autor(es) Clave (Año)	Contexto / Tipo de problema	Método de Optimización	Resultados Clave
Hu2023 Hu et al. (2023)	Hiperheurística SA para DLBP paralelo	Simulated Annealing Hyper- Heuristic	Soluciones consistentes en entornos de remanufactura inteligente
Xiao2017 Xiao et al. (2017)	Híbrido PSO- entropía para DLBP	Hybrid PSO adaptativo	Mejor desempeño en instancias secuencia-dependientes
Mukherjee2022 Mukherjee & Zhang (2022)	DLBP multi-robot	Evo-SA multiobjetivo	Alta calidad de soluciones con tiempos de procesamiento inciertos
Zhang2019 Zhang & Choi (2019)	DLBP forma en U con precedencias AND/OR	Heurístico específico	Facilidad de implementación y buenos resultados en líneas U
Ozceylan2018 Özceylan et al. (2018)	DLBP con análisis DEMATEL	Heurística basada en DEMATEL	Identificación de tareas críticas y mejora incremental del balanceo
Ozceylan2014 Özceylan & Paksoy (2014)	DLBP difuso en supply chain inversa	Programación matemática difusa	Manejo de incertidumbre mediante lógica difusa en line balancing
McGovern2011 McGovern & Gupta (2011)	Base teórica de DLBP	Modelado y balanceo general	Fundamentos esenciales y taxonomía del problema de balanceo de línea

**Tabla 1.** Comparativa de 30 trabajos representativos en DLBP (2015–2025).

### 3. Selección del Método Óptimo

El **Algoritmo Genético (GA)** es el enfoque más prometedor por su **versatilidad, facilidad de adaptación y resultados consistentemente superiores** frente a otras técnicas (Recocido Simulado, Tabú, ACO) [(Mete2023?); Liu2017].

### 4. Gráfico de Relaciones (Mermaid)

```
graph LR
 A[DLBP: Balanceo de Desensamblaje] --> B[Optimización Metaheurística]
 A --> C[Procesamiento de Carcasas de Pollo]
 B --> B1[Algoritmo Genético (GA)]
```



```
B --> B2[Recocido Simulado, Tabú]
B --> B3[ACO, PSO, Bees]
C --> C1[Cortes y Precedencias]
C --> C2[Estaciones y Personal]
B3 --> B31[Colonia de Hormigas]
B3 --> B32[Enjambre de Partículas]
B3 --> B33[Algoritmo de Abejas]
C --> D[Sostenibilidad y Circularidad]
```

## 5. Conexión con la Bibliografía

Las referencias completas se encuentran en `references.bib`, conectadas mediante claves (p. ej. `[@Liu2017]`, `[@Mate2023]`).

““