

Anteproyecto: Balanceo de línea de desensamblaje 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 desensamblaje (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 desensamblaje 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 desensamblaje 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 desensamblaje de carcassas 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 construccion del estado del arte y un antenproyecto acerca de "Balanceo de linea

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 desensamble.

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

Las conclusiones resaltan la necesidad de enfoques innovadores que integren la automatización y la optimización del proceso.

1. Introducción

El balanceo de líneas de producción constituye una técnica esencial en la gestión de operaciones industriales.

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

La concepción tradicional del balanceo de líneas se enfoca en la eficiencia temporal, buscando minimizar el tiempo de ciclo.

El presente informe tiene como objetivos principales: realizar una construcción rigurosa del modelo teórico y aplicarlos a la práctica.

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 manera óptima las tareas entre estaciones de trabajo.

Para comprender a cabalidad el balanceo de líneas, es fundamental familiarizarse con una serie de conceptos fundamentales.

Una estación de trabajo en una línea de producción es la disposición física de estaciones de trabajo donde se ejecutan operaciones específicas.

Un punto específico en la línea donde se lleva a cabo una operación determinada se denomina estación de trabajo.

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

El tiempo de ciclo es el tiempo total requerido para fabricar una unidad del producto, mientras que el tiempo takt es el ritmo al cual los productos deben ser fabricados para satisfacer la demanda.

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

El contenido de trabajo abarca el tiempo total necesario para completar todas las tareas sobre una estación de trabajo.

Antes de emprender un balanceo de línea, deben cumplirse ciertas condiciones previas. Es importante tener en cuenta factores como la disponibilidad de espacio y la capacidad de mano de obra.

2.2. Balanceo de Líneas de Desensamble (DLB)

El balanceo de líneas de desensamble (DLB) se define como el proceso de asignar óptimamente las tareas de desensamble a las estaciones de trabajo.

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

Los objetivos específicos del DLB son diversos y a menudo multifacéticos. Incluyen la minimización de la carne desperdiciada, la maximización de la eficiencia operativa y la optimización de los costos.

2.3. Procesamiento Industrial de Carcasas de Pollo

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

Las etapas principales son:

Recolección y Transporte: Las aves son recogidas humanamente en las granjas y transportadas a los mataderos.

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 y calidad.

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

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

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

La etapa de desensamble, específicamente el corte y deshuesado, es de particular relevancia en la optimización del DLB.

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

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 significativo.

3.1. Desafíos y Consideraciones Específicas en la Industria Avícola

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

Perecibilidad del producto: Los productos cárnicos, incluyendo las carcasas de pollo y sus componentes, tienen una vida útil limitada.

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

La variabilidad de la carcasa es un factor determinante que impulsa la complejidad y la innovación en el diseño de líneas de producción.

Higiene y seguridad alimentaria: El entorno de procesamiento de carne se caracteriza por bajas temperaturas y condiciones húmedas.

Velocidad de línea y ergonomía: Las líneas de procesamiento avícola operan a velocidades extremadamente altas, demandando una alta eficiencia en el diseño y la ejecución.

Aprovechamiento de subproductos y "balance de la carcasa": La industria avícola persigue un uso óptimo de los recursos, buscando maximizar el valor nutricional y económico de todos los componentes de la carne.

La economía circular se encuentra en el corazón de este enfoque de balanceo. Mientras que el uso de subproductos es fundamental, la reducción del desperdicio y la optimización de los procesos son cruciales para minimizar el impacto ambiental.

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 aplicación de DLB en todo el mundo.

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

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 Desensamblaje (DLBP)

Los problemas de balanceo de líneas de desensamblaje (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 calidad de la solución.

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.

La complejidad inherente de los problemas de balanceo de líneas de desensamblaje, acentuada por la naturaleza continua de los datos, hace que la aplicación de estos métodos sea particularmente relevante.

Entre los ejemplos y aplicaciones en DLBP se encuentran:

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

Simulated Annealing (SA): Este algoritmo, que emula el proceso de recocido de metales para enfriar lentamente, es efectivo para explorar espacios de búsqueda grandes.

Optimización por Enjambre de Partículas (PSO): Basado en el comportamiento social de grupos de animales, es eficiente para problemas de optimización con restricciones.

Algoritmos de Colonia de Hormigas (ACO): Inspirados en el comportamiento de búsqueda de alimentos de las colonias de hormigas, son útiles para problemas de ruteo y asignación.

Algoritmos de Optimización de Aves Migratorias (MOBO) y Optimización por Enjambre de Gallinas (GSO): Basados en el comportamiento migratorio de las aves, son aplicados a problemas de optimización multiobjetivo.

Multi-objective Adaptive Large Neighborhood Search (MO-ALNS): Un algoritmo innovador que integra estrategias de búsqueda local y global para manejar problemas complejos.

La investigación en DLBP para carcasas de pollo se orienta fuertemente hacia el desarrollo y la implementación de algoritmos avanzados que mejoren la eficiencia y la calidad de los procesos.

4.4. Modelos de Simulación

Los modelos de simulación, particularmente la Simulación de Eventos Discretos (DES), son herencia de la ingeniería industrial.

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

La simulación actúa como un puente vital entre la teoría y la realidad operativa. Los modelos de simulación permiten probar hipótesis y optimizar procesos.

4.5. Optimización Multi-Objetivo en DLBP

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

Para resolver problemas de MOO, se utilizan diversos enfoques. Uno de ellos es transformar el problema en un problema de maximización o minimización.

La optimización de la línea de desensamblaje de carcassas de pollo es inherentemente un problema de MOO.

La complejidad de la decisión en un entorno de múltiples prioridades es un factor crítico. La optimización debe considerar tanto las restricciones como los trade-offs entre los diferentes objetivos.

Un anteproyecto exitoso para el balanceo de líneas de desensamblaje implica una combinación cuidadosa de estos factores.

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 como Scopus, IEEE Xplore y ScienceDirect.

A pesar de la considerable cantidad de investigación sobre el "balanceo de líneas de desensamblaje", solo se encontraron tres artículos relevantes.

5.2. Tabla Comparativa de Papers Relevantes

Esta tabla es fundamental para el estado del arte, ya que proporciona una visión estructurada de los resultados.

Tabla 1: Comparativa de Publicaciones Científicas Relevantes

Título del Paper / Autor(es)	Año	Base de Datos	Enfoque Principal	Metodología de Solución
Disassembly line balancing problem: a review of the state of the art and future directions / Piewthorn et al.	2022	Scopus	Review	Review
Disassembly Scheduling for the Meat Processing Industry with Product Perishability / Piewthorn et al.	2022	Scopus	Scheduling	Optimization
Online chicken carcass volume estimation using depth imaging and 3-D reconstruction / Bilgili et al.	2022	Scopus	Volume Estimation	Image Processing

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 al. A disassembly line balancing model with the goal of maximizing disassembly profits is established. Towards human-robot collaboration in meat processing: Challenges and possibilities / Faccio et al. Multi-criteria analysis of statistical methods to determine the fluctuation of parameters and their impact. Multi-Objective Optimization Approach for Enhancing Production System Efficiency in a Food Industry / Gómez et al.

5.3. Tabla Comparativa de Metodologías de Solución

Esta tabla ofrece una comparación estructurada de las metodologías de solución para problemas de balanceo de líneas de desensamblaje.

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 "buena calidad".			
Métodos Metaheurísticos (GA, SA, PSO, ACO, MBO/CSO, MO-ALNS)	Algoritmos de búsqueda adaptativa que exploran el espacio de soluciones.			
Modelos de Simulación (DES con AnyLogic/ProModel)	Representación computacional de un sistema para simular su comportamiento.			
Optimización Multi-Objetivo (MOO)	Enfoques que consideran y optimizan simultáneamente múltiples objetivos.			

6. Diagramas de Relaciones y Flujo de Procesos

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

Diagrama de Flujo del Proceso de Desensamblaje de Carcasas de Pollo: Este diagrama ilustraría el flujo de producción.

Diagrama de Relaciones entre Objetivos y Metodologías de DLBP: Este diagrama conceptual representaría las interacciones entre los objetivos y las metodologías.

7. Tesuario (Glossary of Terms)

Balanceo de Líneas: Técnica de gestión de la producción para distribuir equitativamente tareas entre trabajadores.

Línea de Desensamblaje (DLB): Proceso de asignar óptimamente tareas de desensamblaje de un producto.

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 para cumplir con el tiempo de ciclo.

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 una tarea.

Contenido de Trabajo: La suma de los tiempos estándar de todas las tareas que deben realizarse en una estación.

Programación Entera Binaria (PEB): Un tipo de modelo de optimización matemática donde algunas variables solo pueden tomar valores 0 o 1.

Programación Lineal Entera Mixta (PLEM): Un tipo de modelo de optimización matemática que incluye tanto restricciones lineales como variables enteras.

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

Metaheurística: Un algoritmo de alto nivel que guía un proceso de búsqueda para encontrar soluciones óptimas.

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, utilizada para minimizar funciones complejas.

Optimización por Enjambre de Partículas (PSO): Una metaheurística bio-inspirada que simula el comportamiento de los organismos en un grupo.

Algoritmo de Colonia de Hormigas (ACO): Una metaheurística inspirada en el comportamiento de las colonias de hormigas para resolver problemas de optimización.

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

Solución Pareto Óptima: En MOO, una solución es Pareto óptima si no se puede mejorar ninguna función objetivo sin empeorar al menos una otra.

Simulación de Eventos Discretos (DES): Una metodología de simulación que modela el comportamiento de sistemas a través del tiempo.

Visión Artificial: Campo de la inteligencia artificial que permite a las computadoras "ver" y comprender el mundo real.

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

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

Perecibilidad: La propiedad de un producto de degradarse o estropearse con el tiempo, lo que afecta su calidad y seguridad.

8. Conclusiones y Recomendaciones para el Anteproyecto

El análisis del estado del arte revela que el balanceo de líneas de desensamblaje para carcassas es un campo prometedor pero que requiere más investigación.

Se observa una brecha significativa en la literatura: si bien existe una vasta investigación en la optimización multiobjetivo, la aplicación a la carne es relativamente reciente.

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:

Fase 1: Caracterización Detallada del Proceso de Desensamblaje

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 desensamblaje.

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 la optimización multiobjetivo.

Minimización del desperdicio de producto.

El modelo debe incorporar explícitamente restricciones operativas como la capacidad de las máquinas y los tiempos de respuesta.

Integrar parámetros de variabilidad, como tiempos de tarea estocásticos o distribuciones de probabilidad.

Fase 3: Implementación y Validación mediante Simulación

Desarrollar un modelo de simulación de eventos discretos (DES), utilizando software especializado.

Validar el modelo de simulación con datos operativos reales de la planta para asegurar su precisión.

Utilizar el modelo de simulación para experimentar con diferentes escenarios de balanceo.

Realizar análisis de sensibilidad para comprender cómo la variabilidad en el tamaño de las líneas afecta el rendimiento.

Fase 4: Evaluación de Tecnologías Habilitadoras

Investigar la viabilidad técnica y económica de integrar sistemas de visión artificial en las líneas.

Analizar el potencial de la robótica y la colaboración humano-robot (HRC) para automatizar tareas.

Fase 5: Análisis Económico y de Sostenibilidad

Cuantificar el impacto económico potencial de las mejoras propuestas, incluyendo la reducción de costos y la mejora de la eficiencia.

Evaluar el impacto ambiental de las soluciones de balanceo, centrándose en la reducción de residuos y el consumo de energía.

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,producción%20y%20logística>

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.). Artículo.pdf. Recuperado de <https://cathi.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/11933/Articulo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cronometras. (s.f.). Balanceo de Líneas: Optimizando la Eficiencia en Procesos de Manufactura. Recuperado de <https://cronometras.com/es/blog/balanceo-de-lineas-optimizando-la-eficiencia-en-procesos-de-manufactura>

Rojas Pinzon, C. (s.f.). ETAPAS DEL PROCESAMIENTO DE POLLOS A NIVEL INDUSTRIAL. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/458913077/ETAPAS-DEL-PROCESAMIENTO-DE-POLLOS-A-NIVEL-INDUSTRIAL>

Aviagen. (2017). Manejo de Problemas de Calidad de la Carcasa en la Planta de Procesamiento de Pollos. Recuperado de https://aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs-v2/Aviagen_Handbook.pdf

De la Cruz, M. (2021). Los desechos del sector avícola, nueva fuente de materias primas. AvineWS. Recuperado de <https://avineWS.com/los-desechos-del-sector-avicola-nueva-fuente-de-materias-primas-para-la-industria-agroalimentaria/>

Aviagen. (s.f.). Tour virtual por una planta de incubación de última generación. YouTube. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=7y58MyPDFvg&pp=0gcJCfwAo7VqN5tD>

ResearchGate. (s.f.). (PDF) Disassembly Line Balancing. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/45061950_Disassembly_Line_Balancing#:~:text=DLBP%20is

ResearchGate. (s.f.). Disassembly line balancing problem: a review of the state of the art. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/322739774_Disassembly_line_balancing_problem_a_review#:~:text=Disassembly%20line%20balancing%20problem%20is

Chicken Check In. (s.f.). Processing: How are chickens slaughtered and processed for meat? Recuperado de <https://www.chickencheck.in/faq/how-chickens-slaughtered-processed/>

University of Minnesota Extension. (s.f.). Home processing poultry. Recuperado de <https://extension.umn.edu/small-scale-poultry/home-processing-poultry>

OSHA. (s.f.). Cutting & Deboning » Cutting. Recuperado de <https://www.osha.gov/etools/poultry-processing/tasks/cutting-deboning/cutting>

Colorado Department of Agriculture. (s.f.). 1.12. "Poultry slaughter area" means an area where birds are slaughtered. Recuperado de <https://ag.colorado.gov/sites/ag/files/documents/1202-16%20Website.pdf>

Guzman Santiago, M. (s.f.). Balanceo de Líneas de Ensamble Para La Producción Simultanea de Productos. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/363070030/4-3-Balanceo-de-Lineas-de-Ensamble-Para-La-Produccion-Simultanea-de-Productos>

Ciencia Latina. (s.f.). Problema de balanceo de líneas de desensamblaje dependientes de secuencia. Recuperado de <https://cienciadigital.org/2018/03/27/problema-de-balanceo-de-lneas-de-desensamblaje-dependientes-de-secuencia/>

<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 Uncertainty. Recuperado de 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 for line balancing. Recuperado de <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 confección de prendas de vestir. Recuperado de <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. Recuperado de <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=286418>

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

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

ResearchGate. (s.f.). Synthetic Data Augmentation for Enhanced Chicken Carcass Instance Segmentation. Recuperado de 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. Recuperado de <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 YOLO-. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/388786829_Automated_On-site_Broiler_Live_Weight_Estimation_Through_YOLO-

- 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
- 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_AgriFood
- 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 of Broiler Carcass
<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
- 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.atlantispress.com/2018/03/15/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/v32y2023i1d10.1007_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_review

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_review

PMC. (s.f.). NSCSO: a novel multi-objective non-dominated sorting chicken swarm optimizatio

<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_optimizati

ResearchGate. (s.f.). Multiple Product Hybrid Disassembly Line Balancing Problem With Human

https://www.researchgate.net/publication/381901339_Multiple_Product_Hybrid_Disassembly_Lin

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-pulse>

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 System. Recuperado de
https://www.researchgate.net/publication/388786829_Automated_On-site_Broiler_Live_Weight_Estimation_Through_YOLO-Based_System

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 System. Recuperado de
https://www.researchgate.net/publication/388786829_Automated_On-site_Broiler_Live_Weight_Estimation_Through_YOLO-Based_System

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

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

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

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

ResearchGate. (s.f.). An ECRS-based line balancing concept A case study of a frozen chicken processing plant. Recuperado de
https://www.researchgate.net/publication/393643759_Multi-Objective_Optimization_Approach_for_Enhancing_Production_System

https://www.researchgate.net/publication/265969677_An_ECRS-based_line_balancing_concept_A_case_study_of_pasteurization_and_cooling_in_a_chicken_chiller
ResearchGate. (s.f.). Multi-Objective Optimization Approach for Enhancing Production System Efficiency and Sustainability in a Poultry Processing Plant - https://www.researchgate.net/publication/393643759_Multi-Objective_Optimization_Approach_for_Enhancing_Prod
MDPI. (s.f.). The research proposes a multi-criteria analysis of statistical methods to determine the best solution for the problem. - <https://www.mdpi.com/2673-4052/6/3/33>
ResearchGate. (s.f.). Productivity improvement based line balancing A case study of pasteurization and cooling in a chicken chiller - https://www.researchgate.net/publication/283862733_Productivity_improvement_based_line_balancing_in_a_chicken_chiller
MDPI. (s.f.). However, the increasing complexity of modern food production systems has necessitated the development of more advanced optimization techniques. - <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 linea 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 quality of broiler chickens - https://www.researchgate.net/publication/323800033_Effect_of_strain,_sex_and_slaughter_weight_on_growth_performance,_carcass_yield_and_quality_of_broiler_chickens

Se abre en una ventana nueva

mdpi.com

- Energy-Efficient Optimization of Two-Sided Disassembly Line Balance Considering Parallel Operations
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 ORGANIZACIONES
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 año?
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 may...
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 Mathematical Model
Se abre en una ventana nueva

researchgate.net
A comparative analysis of meta-heuristic methods on disassembly line balancing problem with tool deterioration
Se abre en una ventana nueva

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

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

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

jurnal.wastukancana.ac.id
Line Balancing with Simulation Approach (ProModel) on SMC Big Volume Lane in HA Export Department
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 Desensamblaje para Can
Resumen Ejecutivo
El balanceo de líneas de desensamblaje (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 const

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

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

1.2. Definición y Relevancia del Balanceo de Líneas de Desensamblaje

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

Especificamente, el Balanceo de Líneas de Desensamblaje (DLB) es el problema de asignar un conjunto

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

Aunque el objetivo central del balanceo de líneas -minimizar el tiempo de inactividad y maximizar la velocidad-

1.3. Desafíos Específicos en el Desensamblaje de Carcasas de Pollo

El balanceo de líneas en la industria alimentaria, y particularmente en el procesamiento de carcasas de pollo, presenta varios desafíos:

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 los bienes manufacturados, las carcasas varían en tamaño y forma.

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

Finalmente, los estrictos requisitos de higiene y seguridad alimentaria imponen restricciones adicionales a la configuración de las líneas.

La combinación de estos factores -perecibilidad, variabilidad, desafíos de automatización y regulaciones- hace que el DLB sea un desafío complejo.

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

El problema del balanceo de líneas de desensamblaje (DLB) ha sido objeto de una intensa investigación y desarrollo.

2.1. Tipologías de Problemas de DLB

Los problemas de balanceo de líneas de desensamblaje se clasifican en varias tipologías, dependiendo de la complejidad y las restricciones:

Una distinción fundamental es entre el DLB completo y el DLB parcial. El DLB completo implica la optimización de todos los recursos y tareas.

Otra clasificación importante se basa en la variabilidad de los tiempos de las tareas. Los problemas se clasifican en:

Determinísticos: Se asume que los tiempos de las tareas son fijos y conocidos con precisión.

Estocásticos: Los tiempos de las tareas se modelan como variables aleatorias, reflejando la naturaleza impredecible de las carcasas de pollo.

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

Líneas en serie (straight lines): Las estaciones están dispuestas consecutivamente y cada una tiene una función específica.

Líneas en U (U-lines): Las estaciones están dispuestas en forma de U, lo que puede mejorar la fluidez y la eficiencia.

Líneas paralelas: Varias líneas de desensamblaje operan en paralelo, lo que puede proporcionar una mayor eficiencia.

Finalmente, la dependencia de la secuencia es una característica crítica. En el DLB depende de la secuencia en la que se realizan las tareas.

2.2. Objetivos de Optimización en DLB

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

Indicadores de la línea de producción:

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

Minimizar el tiempo de ciclo (Tipo-II DLBP): Dada una cantidad fija de estaciones de trabajo, se busca minimizar el tiempo total de ciclo.

Maximizar la eficiencia de la línea (Tipo-E DLBP): Busca optimizar la proporción del tiempo dedicado a la producción útil.

Minimizar la varianza del tiempo de estación / suavidad del balanceo: Busca lograr una distribución más uniforme del tiempo entre las estaciones.

Indicadores económicos:

Maximizar el beneficio/rendimiento: Considera los ingresos por componentes recuperados (reutilización) y los costos de producción.

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

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 desensamblaje.

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

Maximizar los beneficios ambientales: Se calcula restando el impacto ambiental de las operaciones de desensamblaje.

La optimización multi-objetivo (MOO) es una herramienta indispensable en la industria alimentaria para manejar estos conflictos.

2.3. Metodologías de Solución para DLB

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

2.3.1. Métodos Exactos

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

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

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

Programación Dinámica: Aborda el problema de balanceo de líneas como un problema de secuencias óptimas.

La aplicación de métodos exactos en el balanceo de líneas de desensamblaje para carcassas de pollo.

2.3.2. Métodos Heurísticos

Los métodos heurísticos son enfoques basados en la lógica y el sentido común que buscan encontrar soluciones óptimas rápidamente.

Largest Candidate Rule (Regla del Candidato Más Grande): Este es uno de los métodos heurísticos más simples.

Kilbridge and Wester: Introducido en 1961, este método iterativo busca equilibrar la línea de producción.

Ranked Positional Weights (Pesos Posicionales Clasificados): Este método asigna un peso o valor a cada actividad.

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

2.3.3. Métodos Metaheurísticos

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

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

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

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

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

Algoritmos Genéticos (GA): Inspirados en el proceso de selección natural y la genética, los algoritmos genéticos simulan la evolución.

Particle Swarm Optimization (PSO - Optimización por Enjambre de Partículas): Es un algoritmo que simula el comportamiento de un grupo de partículas.

Ant Colony Optimization (ACO - Optimización por Colonia de Hormigas): Imita el comportamiento de las colonias de hormigas.

Los métodos metaheurísticos son particularmente prometedores para el balanceo de líneas de producción.

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

La aplicación explícita del balanceo de líneas de desensamblaje en la industria avícola, especialmente en la producción de pollo.

La optimización en la industria alimentaria ha evolucionado significativamente, pasando de métodos empíricos a métodos basados en la computación.

En el procesamiento avícola, la automatización es vital para el control de calidad, la seguridad y la eficiencia.

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

El balanceo de líneas de producción en general busca reducir el tiempo de inactividad, agilizar los procesos y mejorar la calidad.

Aunque la literatura específica sobre "balanceo de líneas de desensamblaje para carcassas de pollo" es limitada.

3. Anten proyecto: Balanceo de Líneas de Desensamble para Carcasas de Pollo

3.1. Justificación y Alcance del Anten proyecto

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

Este anten proyecto se propone abordar estas deficiencias mediante la aplicación de principios de optimización y balanceo de líneas.

La justificación de este anten proyecto 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.

El proyecto no solo busca beneficios económicos a través de la eficiencia y el rendimiento, sino también ambientales y sociales.

3.2. Propuesta Metodológica para el Anten proyecto

La metodología para este anten proyecto se estructurará en varias fases, desde la recopilación de datos hasta la implementación.

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 de cada carcaza.

Recursos disponibles: Información sobre el número de estaciones de trabajo, la capacidad de producción y los costos operativos.

El análisis de estos datos proporcionará una comprensión profunda de las operaciones existentes y las necesidades del proyecto.

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 desperdicios.

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 i

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 comportamiento

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 pe

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 eje

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

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

3.3. Objetivos del Anteproyecto

Los objetivos específicos de este anteproyecto 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 antenproyecto 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 las implicaciones.

Diagramas de relaciones en lenguaje Mermaid que ilustren los conceptos clave y las interacciones entre los componentes.

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 de ciclo.

Balanceo de Líneas de Desensamble (DLB - Disassembly Line Balancing): Problema de asignación de tareas a estaciones de trabajo.

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

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 no realiza ninguna actividad.

Restricciones de Precedencia (Precedence Constraints): Relaciones de orden que dictan qué tareas deben realizarse antes que otras.

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

Economía Circular (Circular Economy): Modelo económico que busca reducir el desperdicio y maximizar el uso de recursos.

Optimización Multi-Objetivo (MOO - Multi-Objective Optimization): Técnicas de optimización que consideran múltiples objetivos en vez de un solo criterio.

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

Metaheurísticas (Metaheuristics): Estrategias de búsqueda de alto nivel que guían algoritmos para explorar espacios de soluciones complejos.

Variabilidad del Producto (Product Variability): Diferencias en las características físicas y funcionales de los productos.

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 máquinas interpretar y comprender el mundo visual.

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 desensamblaje robótico dependiente de la secuencia (RDLBSD) para bombas de agua. Revisión del problema de balanceo de línea de desensamblaje (DLB) y sus variantes. Revisión de la literatura sobre la optimización de líneas de ensamblaje. Detección automatizada de carcassas de pollo en líneas de procesamiento usando visión por computadora. Programación de desensamblaje para la industria cárnica con perecibilidad del producto. Modelado y optimización multiobjetivo (MOO) en la industria alimentaria. RSM, ANNs, MOO. Maximizar la eficiencia y minimizar el costo. Optimización multiobjetivo (MOO) en la industria alimentaria. RSM, ANNs, MOO. Maximizar la eficiencia y minimizar el costo. Balanceo de líneas de ensamblaje (ALB) y producción. Algoritmo de agrupación robusto, algoritmo de optimización.

5.2. Comparativa de Metodologías de Solución

La tabla a continuación compara las principales metodologías de solución utilizadas en el balanceo de líneas de ensamblaje.

Metodología	Descripción General	Ventajas	Desventajas	Aplicabilidad en DLB
Métodos Exactos	Buscan la solución óptima global garantizada mediante enumeración sistemática.			Carcassas de Pollo
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 local. 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 trabajo.

Diagrama 1: Relación entre Economía Circular, Desensamblaje y la Industria Avícola
Este diagrama muestra cómo la Economía Circular impulsa las estrategias de recuperación de productos.

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 o

Fragmento de código

```
graph TD
    A --> B{Desafíos Específicos};
    B --> C[Perecibilidad 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 anten proyecto para el balanceo de líneas

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

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

Recomendaciones:

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

Fomentar la colaboración interdisciplinaria: El éxito de este anten proyecto 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

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

bornaplus.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 Factory

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 stations
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

en.wikipedia.org Artificial bee colony algorithm - Wikipedia

Artificial bee colony algorithm
Se abre en una ventana nueva

slideshare.net

Ranked Positional Weight Method | Management | PPTX | Business - SlideShare
Se abre en una ventana nueva

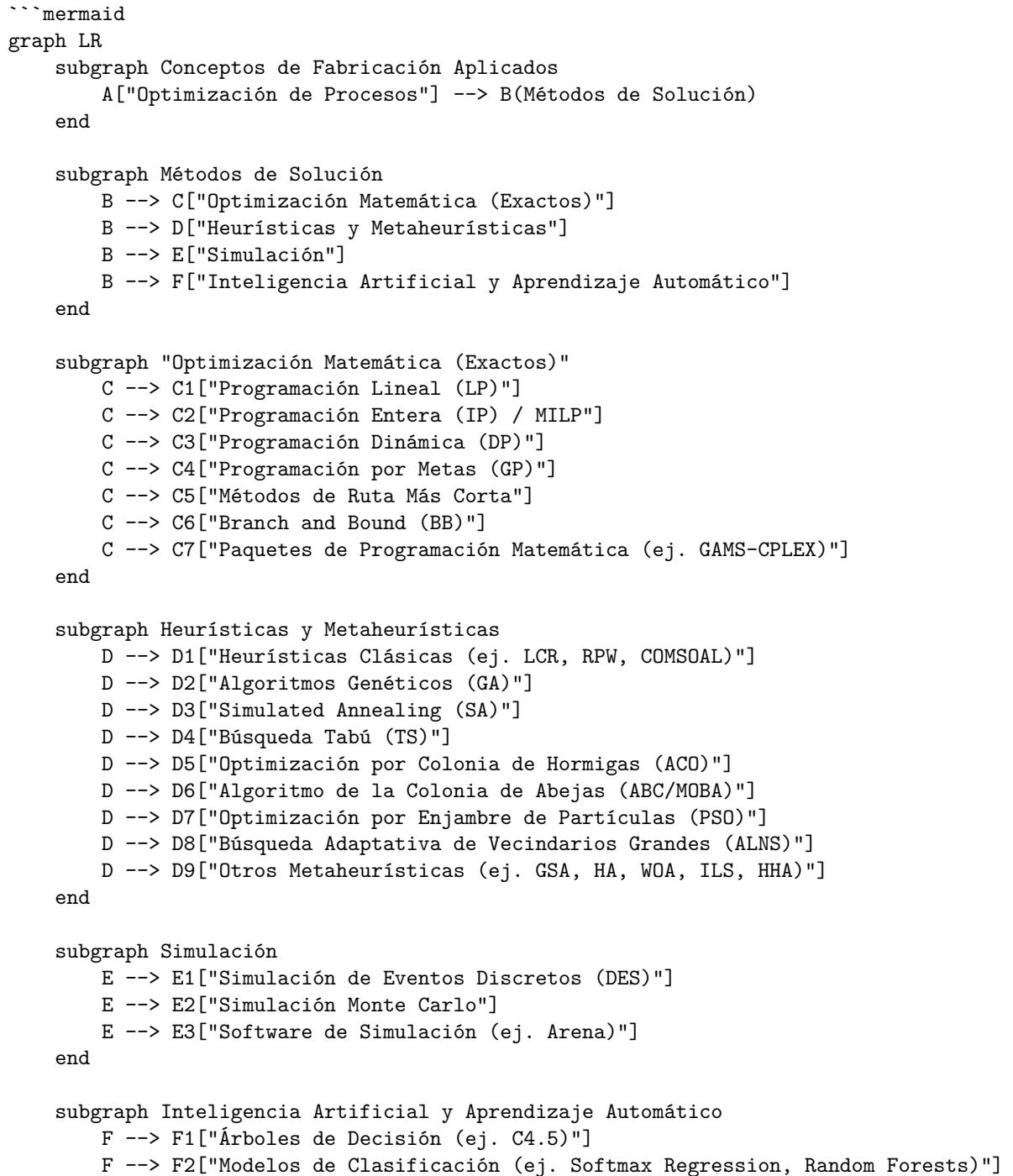
scribd.com

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

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 cada categoría.



```

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-SDDLDB)**.

* **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 DBL. * **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 carcasas 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	Típico	Nota
Tipo de Prob- lema de Bal- anceo de Líneas				
Problema de Balanceo de Líneas de Ensamblaje (ALB)	Línea de modelo único (Single-model Line)	12 artícu-los		Basado en una revisión de 13 artículos relacionados con SALBP-E publicados entre 1999 y 2023.
	Línea de modelo mixto (Mixed-model Line)	1 artículo		Basado en una revisión de 13 artículos relacionados con SALBP-E publicados entre 1999 y 2023.
	Línea multimodo (Multi-model Line)	0 artícu-los		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	Estudios de un solo producto	~96%		De la literatura sobre problemas de balanceo de líneas de desensamblaje, debido a la complejidad de la problemática.

Categoría	Subcategoría	Cantidad	Típico	Nota
Criterios de Objetivo				(Según Ghosh y Gagnon, 1989, con un total de 58 estudios analizados)
Frecuencia	Minimizar el número de estaciones de trabajo (dados el tiempo de ciclo)	21	es-tudios	
	Minimizar el tiempo de ciclo (dados el número de estaciones de trabajo)	16	es-tudios	
	Minimizar el tiempo total de inactividad a lo largo de la línea	12	es-tudios	
	Minimizar el retraso de equilibrio	3	es-tudios	
	Minimizar la longitud total de la instalación o línea	2	es-tudios	
	Minimizar el tiempo de rendimiento	1	es-tudio	
	Minimizar la probabilidad de que una o más estaciones de trabajo excedan el tiempo de ciclo	3	es-tudios	
Objetivos	Minimizar la capacidad de la línea	Frecuentemente en-contrado		Los estudios buscan reducir las diferencias entre las cargas de trabajo de las estaciones.
Co-munes del SALBP-	E			

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

Categoría	Subcategoría	Cantidad	Entidad	Notas
	Metaheurístico (ej. Algoritmos Genéticos (GA), Optimización por Colonia de Hormigas (ACO))	7	artícu- los	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))	2	artícu- los	De una selección de artículos revisados en la Tabla 1 del estudio de optimización de SALBP-E.
	Herramienta de Software (ej. Excel, CPLEX)	2	artícu- los	De una selección de artículos revisados en la Tabla 1 del estudio de optimización de SALBP-E.
Métodos Uso de para Bal- anceo de Líneas de De- sen- sam- blaje Robóti- cas	Metaheurístico 30 de 39 ref- er- en- cias	Presente	en 30 de 39 ref- er- en- cias	Indica que la característica es utilizada en los estudios listados, no un recuento de artículos únicos.
	Uso de Sostenibilidad como objetivo	Presente	en 22 de 39 ref- er- en- cias	Indica que la característica es utilizada en los estudios listados, no un recuento de artículos únicos.

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

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

Archivo: txyz.md

Usuario: (1) Investigar los conceptos fundamentales de ‘balanceo de líneas de desensamble’ 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 desensamble, 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 desensamble 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 desensamble 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 desensamble, 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 tesauro 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 ensamblaje, 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 desensamblaje, DLB, procesamiento de carcassas 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 desensamblaje y el procesamiento de productos orgánicos/cárnicos, especialmente carcassas de pollo.

- **Palabras clave para Balanceo de Líneas de Desensamblaje:**
 - “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 desensamblaje, 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 desensamblaje 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 proportioning 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 desensamblaje en plantas avícolas es crucial para maximizar la productividad y minimizar desperdicios. A diferencia del ensamblaje, 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 Cárnica:** 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 desensamblaje 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 desensamblaje 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-modo.
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

- **<= 8 estaciones** vs línea actual (10–12)
- **Uso de tiempo >= 90%** por estación
- **Aprovechamiento de carcasa >= 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”

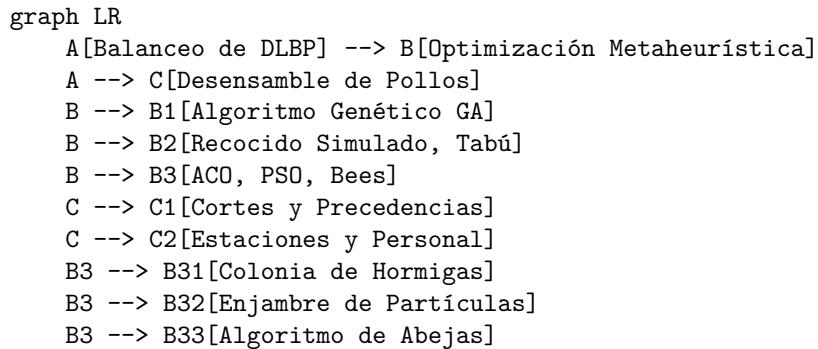
2. Hallazgos y Comparativa

Artículo (Año)	Contexto / Tipo de problema	Método de Optimización	Resultados Clave
Pisuchpen & Ongkunarak (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)



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
Liu2017iu & Wang (2017)	Desensamble secuencia-dependiente	D-ABC multiobjetivo	Superior a 9 métodos previos en eficiencia y menor impacto ambiental
Mete2023ste et al. (2023)	DLBP estocástico	GA vs SA vs modelo exacto	GA supera consistentemente a SA y métodos exactos
Papro2022apka & Skołud (2022)	DLBP predictivo	Modelo de predicción + balanceo	Mejora fiabilidad y eficiencia basadas en predicción estocástica de tiempos
Zhu2025hu et al. (2025)	DLBP secuencia-dependiente	ALNS adaptativo multiobjetivo	+21% soluciones Pareto, +8% hiper-volumen
Guler2024ler et al. (2024)	Revisión parcial	Estado del arte	Identifica tendencias en líneas semiautomatizadas y criterios ambientales
Tasoglu2023lu & Ilgin (2023)	DLBP Redes de logística inversa + simultáneo	Simulación + GA	Demuestra viabilidad de optimizar red e línea simultáneamente
Piewt2019nghom et al. (2019)	Industria cárnica (cerdos)	Heurísticas + programación entera	Mejora de ingresos ~5% considerando perecibilidad
Rodríguez2020ez Picón et al. (2020)	Desensamble de cartuchos	Heurístico inicial + programación entera binaria	Balanceo óptimo con índices de eficiencia elevados
Wang2021ang et al. (2021)	DLBP paralelo parcial	GA combinado con SA	Convergencia más rápida y soluciones de alta calidad
Cil2020il & Mete (2020)	Robótica en DLBP	ACO para balanceo robótico	ACO supera heurísticos básicos en asignación de tareas a robots
Liu2020iu et al. (2020)	Colaboración humano-robot	Bees Algorithm discreto	Mejora flujo de trabajo mixto humano-robot y rendimiento de línea
Ozcey2019an 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
Deniz2019iz & Ozcelik (2019)	DLBP con criterios de múltiple	ELECTRE + heurística	Propuesta de criterio de elección multicriterio para asignación de tareas
Liang2023ing et al. (2023)	Consumo energético & profit DLBP multi-paralelo	Modelo matemático + heurístico híbrido	Balanceo eficiente optimizando energía y beneficio económico
Yang2024ng et al. (2024)	DLBP parcial multiobjetivo	GA multiobjetivo	Trade-off óptimo entre profit y emisiones de carbono
Shen2024en et al. (2024)	DLBP colaborativo humano-robot	Multiobjetivo Bees Algorithm	-10% longitud de línea U; viabilidad de células cooperativas
Xiao2021ho et al. (2021)	DLBP robusto contra incertidumbre	Migrating Birds Optimization	Alta robustez ante variaciones en tiempos de tarea
Zhao2023ao et al. (2023)	DLBP con componentes peligrosos	Brainstorming Optimizer mejorado	Mejora en tiempos de convergencia y calidad de soluciones en escenarios riesgosos
Tang2024ng et al. (2024)	Configuraciones de estación distintas	Modelado unificado + GA multiobjetivo	Flexibilidad para líneas con estaciones heterogéneas
Zhang2022ng et al. (2022)	Convergencia GA + clustering	Brainstorming + K-means	Reducción de iteraciones para alcanzar soluciones de alta calidad
He2022le et al. (2022)	DLBP multi producto	Group Teaching Optimization	Mejor convergencia y diversidad de soluciones comparado con GA estándar
Lu2023bu et al. (2023)	DLBP energéticamente eficiente	Heurístico robótico + secuenciación	Ahorro de energía en líneas de desensamble de electrodomésticos
Kucukkoc2017oc & Zhang (2017)	DLBP con trabajadores móviles	Modelado agente + heurísticas	Manejo efectivo de tiempos de desplazamiento entre estaciones

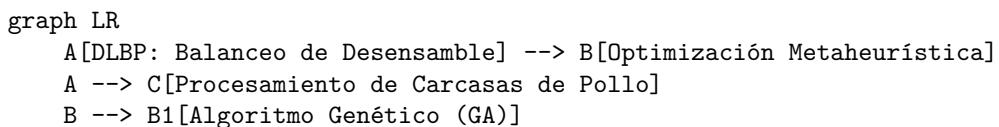
Autor(es) Clave (Año)	Contexto / Tipo de problema	Método de Optimización	Resultados Clave
Hu2023 Hu et al. (2023)	Hiperheurística Simulated SA para DLBP paralelo	Annealing Hyper-Heuristic	Soluciones consistentes en entornos de remanufactura inteligente
Xiao2017 Xiao et al. (2017)	Híbrido PSO-entropía para DLBP	Hybrid PSO adaptativo	Mejor desempeño en instancias secuencia-dependientes
Mukherjee2022 & Zhang (2022)	DLBP multi-robot	Evo-SA multiobjetivo	Alta calidad de soluciones con tiempos de procesamiento inciertos
Zhang2019 & Choi (2019)	DLBP forma en U con precedencias AND/OR	Heurístico específico	Facilidad de implementación y buenos resultados en líneas U
Ozcey2018 et al. (2018)	DLBP con análisis DEMATEL	Heurística basada en DEMATEL	Identificación de tareas críticas y mejora incremental del balanceo
Ozcey2014 & Paksoy (2014)	DLBP difuso en supply chain inversa	Programación matemática difusa	Manejo de incertidumbre mediante lógica difusa en line balancing
McGover2011 & 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)



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], [@Mete2023]`).

““