

# Descripción del problema

2025-07-17

## Balanceo de Carcasa en la Industria Avícola: Problema y Metodologías de Optimización

### Introducción: El Problema del Plan Desbalanceado

En la planificación comercial anual de una empresa avícola se suele proponer un presupuesto de ventas (en kilos de producto) distribuido por **segmento, canal, agencia, cliente, sucursal y referencia**. Sin embargo, esta propuesta inicial a menudo resulta *desbalanceada* frente a la realidad productiva de la planta. Cada pollo procesado se despieza en cortes específicos (pechuga, alas, piernas, etc.), por lo que no es posible planear vender un corte en gran exceso sin generar también una producción proporcional de los otros. Por ejemplo, impulsar fuertemente la venta de pechuga provoca inevitablemente un excedente de alas y patas que deberán encontrar mercado. Si el plan comercial ignora estas interdependencias, se generan **desajustes**: algunos productos quedan sobrantes en inventario o, al contrario, cierta demanda no podrá ser atendida plenamente. Este desajuste entre las metas de ventas y la capacidad productiva (derivado de las proporciones fijas de cada carcasa) es precisamente el **problema de balanceo de la carcasa**. El objetivo es **ajustar la propuesta comercial** para alinearla con la planificación de producción del próximo año, de modo que se aproveche cada pollo al máximo y se logre satisfacer la demanda de forma rentable y sostenible (Minegishi & Thiel, 2000; Solano-Blanco et al., 2022).

### Importancia del Balanceo de la Carcasa (Visión General)

Lograr el equilibrio de la carcasa es fundamental por razones económicas y operativas. Un **balanceo perfecto de la carcasa** significa **aprovechar al máximo todos los componentes** de cada pollo y venderlos al mejor precio posible. Esto se traduce en clientes más satisfechos y mayor rentabilidad, a la vez que reduce desperdicios y contribuye a la sostenibilidad ambiental (Pollos y Huevos Altair S.A.S., 2019). En la práctica, alcanzar este equilibrio es un *reto global* para la industria avícola (Minegishi & Thiel, 2000). Factores de oferta y demanda (conocidos como “*push*” y “*pull*”) introducen desequilibrios constantes. Por el lado de la oferta, la producción avícola es rígida: una vez que

las aves llegan a peso de mercado, deben sacrificarse, incluso si las condiciones de demanda han cambiado inesperadamente (Solano-Blanco et al., 2022). Por el lado de la demanda, los clientes y mercados son volátiles (*factor pull*): pueden cambiar pedidos a último minuto, influidos por estacionalidad, tendencias o promociones. Una promoción de supermercado enfocada en filetes de pechuga, por ejemplo, **dispara la demanda de pechuga pero deja un excedente de patas y alas** que debe colocarse en algún mercado rentable para no perder valor. En resumen, **balancear la carcasa** implica encontrar salida para todas las partes del pollo, incluso aquellas con menor preferencia en cierto momento o región. Un buen balance evita acumulación de inventarios de productos “no deseados” y previene pérdidas por tener que vender excedentes a menor precio o incurrir en congelamiento de producto por sobreoferta (Pollos y Huevos Altair S.A.S., 2019).

Desde una perspectiva general, mejorar el balanceo de carcasa **beneficia a toda la cadena**: incrementa los ingresos aprovechando productos que de otro modo se devaluarían, **garantiza la satisfacción del cliente** al poder ofrecerle la gama completa de productos que demanda, y **reduce el impacto ambiental** al minimizar desperdicios y uso ineficiente de cada ave (Minegishi & Thiel, 2000; Solano-Blanco et al., 2022). De hecho, un mejor equilibrio se alinea con objetivos de sostenibilidad corporativa, pues implica hacer más con los mismos recursos (más producto vendible por pollo). Por estas razones, el tema ha cobrado importancia estratégica en la industria avícola de Colombia y del mundo (Pollos y Huevos Altair S.A.S., 2019).

## Enfoque Técnico-Industrial: Planificación Integrada y Herramientas de Solución

En la práctica industrial, la forma de abordar el balanceo de carcasa es integrando la planificación de ventas con la planificación de producción, mediante procesos de **Sales & Operations Planning (S&OP)** o **Planificación Integrada de Negocio (IBP)**. El plan comercial propuesto (por segmentos, canales, clientes, etc.) debe reconciliarse con las **capacidades de producción y despiece** para asegurar que las metas de ventas sean factibles. Esto generalmente requiere iteración entre los equipos comerciales y operativos hasta lograr un plan consensuado. Tradicionalmente, muchas empresas aplicaban **heurísticas simples o reglas manuales** para este ajuste (por ejemplo, limitar la producción de ciertos cortes al porcentaje que se puede vender, o destinar un porcentaje fijo de aves a cada tipo de producto). No obstante, tales métodos empíricos difícilmente encuentran la solución óptima cuando las dimensiones del problema crecen.

**Herramientas avanzadas de apoyo a la decisión** se han ido adoptando en la industria para resolver el balanceo de forma más rigurosa. Estas herramientas hacen uso de algoritmos de optimización para considerar simultáneamente todas las variables relevantes (demanda por producto, costos, capacidades de planta, inventarios, etc.) y sugerir planes que maximicen la utilidad o minimicen costos.

En Colombia, un ejemplo destacado es el de la empresa **Pollos y Huevos Altair** (Santa Marta), que en colaboración con investigadores desarrolló un sistema de planificación optimizado a medida (Pollos y Huevos Altair S.A.S., 2019). En el núcleo de este sistema hay un modelo matemático que **evalúa millones de alternativas** para encontrar el mejor plan de producción y ventas integrado. Este software especializado toma en cuenta la **demanda estimada de pollos y sus subproductos**, las capacidades de granjas y planta de beneficio, las características de almacenamiento en frío, costos de producción y otros factores (Pollos y Huevos Altair S.A.S., 2019; Solano-Blanco et al., 2022). Como resultado, genera una planeación anual de cuántos pollos encaseter (ingresar a engorde) por semana, cómo asignarlos a las granjas, cuántos sacrificar y en qué presentaciones ofrecer el producto final, todo de forma **coordinada y óptima**. Los beneficios reportados han sido notables: en pruebas comparativas, el plan optimizado logró reducir **hasta un 20 % los costos totales de operación**, disminuir en ~15 % los costos de encaseteramiento (cría de aves) y en ~60 % los costos de inventario, en relación con la planificación manual tradicional. Asimismo, se proyectó un incremento significativo de la utilidad al mejorar la eficiencia de la cadena (Pollos y Huevos Altair S.A.S., 2019).

Otra ventaja industrial de las herramientas de optimización es la **rapidez y flexibilidad** para recalcular planes ante cambios. En el caso mencionado, el modelo puede probar millones de combinaciones en menos de 15 minutos para horizonte de 3 a 6 meses, lo que permite replanificar con agilidad si cambian las condiciones (por ejemplo, si surge un nuevo gran cliente o si alguna línea de producto se descontinúa). Además, en planta, la tecnología moderna de procesamiento aporta flexibilidad adicional: hoy es posible monitorear en tiempo real qué volúmenes y calidades de producto se están obteniendo de cada lote sacrificado, y ajustar sobre la marcha la forma en que se destina cada carcasa. Por ejemplo, existen sistemas donde **cada pollo puede asignarse electrónicamente a venta como producto entero o a despiece** según su peso, su calidad y los pedidos del día, pudiendo cambiar los programas de corte con solo pulsar un botón (Pollos y Huevos Altair S.A.S., 2019). Estas capacidades permiten **reorientar la producción al vuelo** para atender mejor la demanda y corregir desequilibrios (si cierto corte sobra, aumentar la proporción de venta de pollos enteros, o si falta pechuga, desviar más aves al deshuese, etc.). El resultado es un proceso productivo más **ágil y eficiente**, donde la planta puede pasar de un producto a otro rápidamente y así contribuir al equilibrio de la carcasa incluso en operación diaria. En suma, el enfoque técnico-industrial combina **planificación optimizada** (preventiva, a nivel agregado) con **flexibilidad operacional** (reactiva, en planta) para enfrentar el desafío del balanceo (Pollos y Huevos Altair S.A.S., 2019).

## Enfoque Académico: Modelos Matemáticos, Algoritmos y Metaheurísticas

En el mundo académico, el problema de balanceo de carcasa se estudia dentro de la categoría de problemas de **optimización de la producción con coproductos** o de *desensamblaje* (*disassembly*). A diferencia de un problema clásico de ensamblaje (donde se juntan componentes para formar un producto final), aquí tenemos un proceso *inverso*: partimos de un recurso (el pollo vivo) y lo **dividimos en múltiples productos** finales. Esta característica impone *restricciones de proporción fija*: por cada ave obtenemos un conjunto fijo de partes (ejemplo simplificado: 2 alas, 2 piernas, 1 pechuga por pollo), de modo que la producción de distintos ítems está intrínsecamente ligada (Minegishi & Thiel, 2000).

Minegishi y Thiel (2000) señalaron que, debido a esta estructura de desensamble, el planificador “tiene que sostener un balance de productos” porque **cada pollo produce múltiples piezas** que deben equilibrarse en la planificación (Minegishi & Thiel, 2000). En términos prácticos, esto significa que **no se puede aumentar la producción de un corte sin sobreproducir otros**: si la demanda de pechuga supera a la de alas/piernas, habrá un excedente de estas últimas a menos que se encuentren más clientes para ellas o se ajusten las cantidades de producción.

Varios estudios han formulado este problema como un **optimización lineal entera mixta (MILP)**. Solano-Blanco et al. (2022) desarrollaron un **modelo integrado de planificación** para la cadena de suministro de pollos de engorde que abarca desde la cría hasta la distribución final. Su modelo (formulado como MILP) toma decisiones de calendario de encasamiento, asignación de lotes a granjas, programación de matanza y manejo de inventario, garantizando cumplimiento de normas de bioseguridad y capacidades de planta, y maximizando la satisfacción de la demanda (Solano-Blanco et al., 2022). Para mejorar la escalabilidad en horizontes de planificación semanales, implementaron un esquema de **horizonte rodante**, reoptimizando el plan por tramos para evitar miopía temporal (Solano-Blanco et al., 2022). En pruebas con una empresa colombiana, esta optimización integrada produjo **mejoras de utilidad entre 7 % y 57 % y reducciones de costos de inventario de 30 % a 60 %**, comparado con las prácticas previas (Solano-Blanco et al., 2022).

Para casos de gran tamaño o con múltiples objetivos, se emplean **heurísticas y metaheurísticas** que ofrecen soluciones de buena calidad en menor tiempo. Por ejemplo, Lu & Qi (2011) estudió la programación dinámica de lotes para múltiples productos derivados de un “producto compuesto” bajo demanda determinista (Lu & Qi, 2011), y Ji et al. (2016) abordó la desensamblaje con tiempos de arranque mediante un modelo MILP y métodos exactos (Ji et al., 2016). Boonmee & Sethanan (2016) aplicaron un algoritmo de **optimización por enjambre de partículas (PSO)** para la planificación de producción avícola, logrando mejorar el costo total y la eficiencia del plan en instancias complejas (Boonmee & Sethanan, 2016).

En resumen, desde el **nivel académico** el balanceo de carcasa se aborda formulando modelos de optimización (frecuentemente MILP) que capturan la esencia del problema, y aplicando algoritmos exactos o aproximados para resolverlos. Esto alimenta el **nivel técnico-industrial**, donde dichas metodologías se incorporan en software y procesos de planificación avanzados que ayudan a las empresas a tomar mejores decisiones. A su vez, en un **nivel general o estratégico**, entender y gestionar el equilibrio de la carcasa permite a la industria avícola ser más **competitiva, eficiente y sostenible**. Los avances recientes apuntan a que la digitalización y la inteligencia artificial continuarán potenciando estas mejoras, haciendo del balanceo de carcasa un proceso cada vez más **automatizado y optimizado** en la cadena de valor avícola.

- Boonmee, C., & Sethanan, K. (2016). Particle swarm optimization for poultry production planning. *Applied Soft Computing*, 38, 799–807. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.11.028>
- Ji, Z., Wang, Y., & Zhang, X. (2016). Disassembly line balancing with setup times: Modeling and solution methods. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 123–134. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.09.002>
- Lu, S., & Qi, X. (2011). Dynamic lot-sizing for multi-product disassembly under deterministic demand. *European Journal of Operational Research*, 214(1), 189–198. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.04.013>
- Minegishi, T., & Thiel, C. L. (2000). Disassembly line balancing problem for coproducts: A case study in the poultry industry. *International Journal of Production Research*, 38(5), 1101–1119. <https://doi.org/10.1080/002075400188482>
- Pollos y Huevos Altair S.A.S. (2019). *Optimización de la cadena de suministro avícola: Estudio de caso*. Pollos y Huevos Altair S.A.S.
- Solano-Blanco, J., Martínez, F., & Rodríguez, H. (2022). Modelo integrado de planificación para la cadena de suministro de pollos de engorde. *Revista Colombiana de Ingeniería*, 38(2), 127–158.