



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



“Optimización de Cadena de Distribución de Productos Avícolas
Crudos”

Apolo Marcelo, Menéndez César, MSc. Echeverría Fabricio
Instituto de Ciencias Matemáticas

Ingeniería en Estadística Informática

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil – Ecuador
cjmenend@espol.edu.ec, pechever@espol.edu.ec, mmapolo@espol.edu.ec,

Resumen

El presente proyecto, busca dar un soporte robusto con métodos analíticos de vanguardia orientados al manejo holístico de datos e información sobre las operaciones comerciales de una empresa dedicada a la distribución de productos perecibles de consumo masivo como lo son los pollos balanceados de engorde crudos en la presentación de pollos enteros y por presas, modelar matemáticamente este tipo de procesos, dado que el número de variables que se relacionan es significativo y evidenciando escenarios muy diversos que responden a un mercado dinámico, hace que este tipo de problema sea considerado como un Np-duro, el cual requiere, para su correcto dimensionamiento una solución metaheurística, por lo que se emplearán herramientas potentes de simulación y optimización tales como algoritmos de recocido simulado y genético como un modelo híbrido.

Palabras Claves: Np-duro, metaheurística, simulación, optimización, algoritmo de recocido simulado, y algoritmo genético.

Abstract

This project seeks to provide robust support advanced analytical methods aimed at holistic management of data and information on the business operations of a company dedicated to distribution of perishable consumer products such as chicken Raw feeders balanced in the presentation of whole chickens and dams, mathematically modeling such processes, since the number of variables are related is very significant and showing scenarios various responding to a very dynamic market, makes this type of problem is considered an NP-hard, which requires, for correct metaheuristic sizing solution, As used powerful tools for simulation and optimization algorithms such as simulated annealing and genetic as a hybrid model.

Keywords: Np-duro, metaheuristic, simulation, optimization, simulated annealing algorithm and genetic algorithm.

1. Introducción

El presente proyecto tiene como tema la “Optimización de la Cadena de Distribución de Productos Avícolas Crudos”, para una empresa Comercial – Avícola de la ciudad de Guayaquil, organización que debido al volumen de producción que viene manejando durante varios años y dada la realidad de su mercado de consumo sigue un proceso estocástico en relación a los pedidos que la institución debe administrar y controlar.

Es así, que mediante el análisis potente de la estadística y herramientas heurísticas para el tratamiento de datos y simulación de escenarios, se tiene como objetivo encontrar una solución que optimice la gestión de distribución de los productos. Cabe recalcar que la firma a la cual se le realiza el estudio no hace procesos de pre-venta.

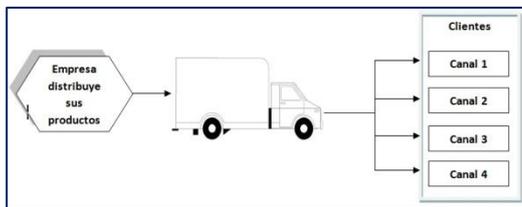


Figura 1. Actores del negocio a estudiar

El objetivo general del proyecto es “maximizar la función de utilidad bruta de la compañía en base a sugerencias de políticas de reducción de costos”.

1.1. Descripción del negocio.

La empresa está ubicada en la ciudad de Guayaquil, la misma afirma que sus ventas promedios en libras por semana son de alrededor de 64400 libras, las cuales se distribuyen de la siguiente forma.

Tabla 1. Promedio de libras vendidas por día

Detalle producto	Libras promedio vendidas
Pollos enteros	4400
Pechugas	602
Muslos	356
Alas	143
Menudencias	800

Esta empresa satisface alrededor del 0,18% de la demanda del mercado en la ciudad de Guayaquil.

1.2. Descripción de la operación.

Debemos considerar ciertos aspectos, los cuales nos ayudarán a definir de manera eficiente las variables en el modelo. Se reciben los pollos enteros en la planta y se realizan los cortes de algunos de ellos con base a estimaciones realizadas por el departamento comercial según el canal de venta. El despresado del pollo entero por presas se presenta en la figura y tabla 2.

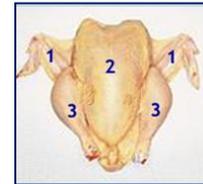


Figura 2. Distribución visual de Pollo

Tabla 2. Distribución de presas con base al Pollo Entero sin menudencias

Ilustración Gráfica	Detalle producto	Porcentaje de Pollo respecto a pollo entero sin menudencias
1	Alas	18%
2	Pechugas	37%
3	Piernas	45%
	Pollo	100%

Tabla 3. Costo por tipo de producto

Detalle producto	Costo por libra
Pollos enteros	\$ 0,90
Pechugas	\$ 0,70
Piernas	\$ 1,10
Alas	\$ 0,65
Menudencias	\$ 0,25

La empresa entrega el producto a clientes en toda la ciudad con una flota propia, la cual le representa gastos fijos de administración, mantenimiento y seguridad.

Toda la infraestructura es propia (Máquinas de corte y empaque, Cámaras de frío), etc. Las mismas tienen una vida útil de cinco años para las máquinas mientras que de diez años para la cámara de enfriamiento. Toda la flota utilizada para la distribución cumplió su vida útil contable, es decir, el activo como tal se deprecia totalmente. Las instalaciones y establecimientos

de la firma cumplen con todas las regulaciones establecidas por los distintos entes de control.

2. Descripción del problema

La empresa actualmente dispone de un proceso empírico para el abastecimiento de pollos crudos enteros y por presas para su posterior distribución, los pedidos son a diarios y siguen un comportamiento estocástico, el mercado es muy variable en la demanda lo que vuelve sensible el sistema de distribución, existen rutas – canales de venta definidos para despachar a los clientes minoristas, es durante este proceso de recorrido que los camiones salen cargados con un volumen de productos estimado para lograr ser colocado en la red y que se irán despachando según los requerimientos de los clientes al momento de la visita.

El proceso anterior de distribución, trae consigo problemas para los clientes como para la empresa, por un lado no todos los clientes logran tener el pedido que solicitan al instante, ya sea porque desean cierta cantidad de cierto tipo de producto que el repartidor no dispone y regresar a abastecerse resulta incrementar costos por tiempo y logística. A su vez se vuelve no productiva la red de distribución ya que el producto requerido por lo general existe en inventario. La preventa es un proceso muy variable que la empresa lo ha ensayado por varios métodos sin llegar a buenos resultados, incrementando sus costos operativos y de personal debido a que los pedidos son día a día y siempre terminan despachando más o menos de lo predefinido, ya que le cliente dispone de un poder de negociación que está sujeto a la oferta y demanda de mercado.

El proceso de abastecimiento y distribución que actualmente la empresa tiene es a diario y empieza con disponer de un inventario inicial que se detalla en la tabla 4, el abastecimiento viene en productos en la presentación de pollos enteros y dependiendo de la necesidad de despacho va directo a los camiones repartidores para su respectivo recorrido por los canales de venta que se tienen establecidos, o los pollos enteros entra a proceso de corte por presas para su despacho inmediato o para almacenamiento para disponer de inventario inicial para el siguiente día. La empresa tiene una cámara de frío con capacidad de almacenamiento para 300 gavetas con un óptimo sistema al frío, con 450 gavetas la cámara estaría saturada y con un problema de que el producto debe salir por lo menos en las siguientes ocho horas, ya que el

mismo bajo esas condiciones puede coger mal olor y habría que hacer procesos adicionales como lavar el producto y recortarlo para comercializarlo al menudeo. Estas gavetas podrán almacenar un aproximado de 19000 libras de pollos o su equivalente en unidades de pollo 3600. Con base a la experiencia el negocio ha establecido el siguiente esquema de inventario al inicio de la jornada:

Tabla 4. Detalle de inventario inicial

Detalle producto	Cantidad de producto por gaveta	Inventario inicial de gavetas en cámara/ Producto
Pollos enteros	12	30 ± 5 gavetas
Pechugas	24	10 ± 4 gavetas
Piernas	36	10 ± 5 gavetas
Alas	36	10 ± 5 gavetas
Menudencias	12	8 ± 4 gavetas

En este contexto se va a desarrollar un modelo de optimización heurística que formule una mejor combinación de abastecimiento para que la empresa con base a la demanda histórica, demanda no satisfecha y su capacidad instalada mejore el proceso de la línea de almacenamiento y distribución.

3. Planteamiento de la solución

3.1. Descripción del modelo y de variables

Se desarrollo un sistema el cual hallará soluciones óptimas mediante simulación con métodos heurísticos, a su vez se genera estadística descriptiva, gráfica, iterativa para ilustrar los resultados de la optimización. Para nuestro sistema expondremos tres tipos de variables. Variables de entrada, de control y de salida del sistema. Presentaremos cada una de ellas de acuerdo al tipo de variable.

3.1.1 Variables de Entrada

Son todas aquellas variables que alimentarán nuestro sistema, estas variables siguen un comportamiento estocástico que mediante herramientas estadísticas se modelan y suavizan para el estudio. Mediante técnicas de bondad de ajuste (Kolmogorov – Smirnov) y pruebas Chi cuadrado. Las variables de entrada a usar en nuestro sistema son:

El Peso promedio de Pollos enteros para corte, a partir de esta variable se procederá a

realizar los cortes por tipo de producto descrito en las proporciones que se dan en la Tabla 2, estos cortes los enunciaremos como el vector $CPP_{\mathbb{P}}$ (Cortes de pollos por tipo de producto) y el arreglo que enuncia el Total de libras de Pollos para la venta $LPVTA_{\mathbb{P}}$. Para comodidad del lector, cuando enunciamos a un vector de dimensión \mathbb{P} . El orden del vector será 5. Es decir cada uno de sus componentes son los tipos de producto y siguen este orden.

- Pollos enteros
- Pechugas
- Piernas
- Alas
- Menudencias

Además se determino las ventas no efectuadas mediante encuestas de satisfacción a los clientes. Esta variable la denotaremos como $VNE_{\mathbb{P}}$. Ventas no efectuadas por tipo de producto.

3.1.2. Variables de Control

Según Tuckman (1978), las variables de control las define como esos factores que son controlados por el investigador para eliminar o neutralizar cualquier efecto que podrían tener de otra manera en el fenómeno observado. Es decir, serán los inputs de nuestro sistema y el usuario podrá establecerlos según su conveniencia y necesidad. Para nuestro modelo catalogaremos como variables de entrada las siguientes:

El vector de Precios de Venta por tipo de Producto que lo enunciaremos con $PVP_{\mathbb{P}}$, los Costos de adquisición por libra por tipo de Producto $CALP_{\mathbb{P}}$, Costo de Venta no efectuada por tipo de producto $CVNE_{\mathbb{P}}$, Comisión por Ventas ($COMVTAS_{\mathbb{P}}$) y Costo de Stock ($VCCS_{\mathbb{P}}$).

3.1.3. Variables de Salida

El modelo de optimización a través de las variables de entrada y de control producen resultados, a los cuales se denominarán variables de salida, estas variables serán de utilidad para explicar el rendimiento económico del negocio con base a la optimización producida por la simulación de escenarios. Entre las variables de salida se tiene: Vector de Inventario promedio $VIP_{\mathbb{P}}$, libras faltantes o sobrantes por línea de producto $LSPP_{\mathbb{P}}$ y el Vector de libras vendidas por línea de producto $VLVPP_{\mathbb{P}}$. El vector de libras vendidas por línea de producto estima la cantidad de libras a vender

por línea de producto. Con ello podemos hacer una evaluación exhaustiva de los ingresos y egresos.

El vector de inventario $VI_{\mathbb{P}}$ da como resultado las libras óptimas por tipo de producto que se deben disponer como mínimo en las cámaras de frío para manejar una apropiada operación de distribución.

3.1.3. Parámetros de la gestión del negocio

Para la gestión del negocio y sus operaciones los parámetros correspondientes a utilizar en el modelo de optimización son valores monetarios que se obtienen con base al último balance de la empresa. Así se tiene entre otros parámetros Gastos de personal, Gastos Logísticos, Gastos de seguridad, Gastos administrativos, Costo de mantenimiento de flota, Costo de Mantenimiento de maquinaria, equipos e instalaciones, Depreciación de Maquinarias, Costo de operación de flota, entre otras.

4. Simulación y optimización

El proceso de la empresa consiente en el abastecimiento de pollos enteros, los mismos son cortados por tipo de producto, es decir, pueden salir a la venta como producto entero o por cortes ya sea de pechugas, alas, muslos, y menudencias, estos cortes en la actualidad lo realizan sin una planeación matemática, el sistema informático en su módulo de simulación arrojará en promedio el número unidades por tipo de producto a cortar para su venta. Estas unidades serán multiplicadas por un factor de corte que se enuncia en la tabla 1.2. Y así obtendremos el total de libras a vender por tipo de producto.

4.1. Proceso de Simulación

Según Winston (1994) se puede definir la simulación como la técnica que imita el funcionamiento de un sistema del mundo real cuando evoluciona a través del tiempo. La simulación no es una técnica de optimización sino es una técnica que sirve para estimar las medidas del desempeño del sistema modelado. El sistema contempla un conjunto de variables de entrada (los valores que toma cada una de estas variables son almacenadas y escogidas en su totalidad de la base de datos de la empresa), estas tienen un comportamiento el cual lo determina el modelo y realizando un análisis en conjunto con las variables de control las cuales son propuestas bajo un criterio de experto

obtendremos todas las posibles soluciones que maximicen la utilidad generada por el proyecto en un período de siete días.

4.1.1. Descripción de funciones y relaciones entre variables

De acuerdo a las características del producto se hace necesario que la empresa se provea de las unidades de pollo suficientes y necesarias para satisfacer la demanda en cada una de sus líneas. Para resolver este problema procederemos a medir la cantidad de inventario semanal y a estimar las ventas no efectuadas. Para definir el inventario por tipo de producto primero debemos ver los comportamientos de los abastecimientos y ventas efectuadas.

Definamos primero como I_0 al inventario inicial que no es más que la cantidad de libras por tipo de producto al inicio de la jornada laboral. Partiendo de esta premisa el inventario final I_f será el Total de libras de pollo para la venta por tipo de producto menos mi inventario inicial y las libras vendidas por tipo de producto.

$$I_{\mathbb{P}}^{Final} = LPVTA_{\mathbb{P}} - I_{\mathbb{P}}^{Inicial} - VLVPP_{\mathbb{P}}$$

Debemos además considerar ciertos costos variables y ciertos costos fijos estos últimos son valores dados por el contador de la firma que según su conocimiento a priori los estima. Los costos variables a utilizar en nuestro modelo son los costos de almacenamiento y los costos de ventas y lo mediremos en unidades monetarios.

Ahora definiremos nuestra función objetivo, la misma estará compuesta de otras funciones las cuales se detallarán a continuación:

Función de Ventas (F_{Ing}).- Esta función detalla producto del volumen de ventas efectuadas en un día por su precio de venta por cada tipo de producto y viene dada por:

$$F_{Ing} = VLVPP_{\mathbb{P}} * PVP_{\mathbb{P}}^T$$

Función de egresos (F_{Egr}).- Otra función que interviene en nuestra función objetivo es la de egresos.

$$F_{Egr} = LPVTA_{\mathbb{P}} * CALP_{\mathbb{P}}^T$$

Costos variables (C_{Var}).- Los costos variables dependerán de los inventarios y del volumen de ventas y lo presentamos en el siguiente párrafo.

$$C_{Var} = I_{\mathbb{P}}^{Final} * VCCS_{\mathbb{P}}^T + LPVTA_{\mathbb{P}} * COMVTAS_{\mathbb{P}}$$

Costos de Ventas no efectuadas (C_{VNE}).- Por lo general este costo las firmas no los cuantifican, el mismo estará dado por:

$$C_{VNE} = [VNE_{\mathbb{P}} * PVP_{\mathbb{P}}^T]$$

Costos Fijos:- Son costos que bajo los parámetros que se dan actualmente en la empresa siempre van a gastarse de manera constante. Por ende la función de costos fijos estará representada por la sumatoria de estos gastos anuales.

$$CT_{\mathbb{F}} = \frac{\text{Parámetros monetarios de la gestión del negocio anual}}{52}$$

Nuestra función $F_{\mathbb{X}} : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$

$$F_{\mathbb{X}} = F_{Ing} + F_{Egr} + C_{Var} + C_{VNE} + CT_{\mathbb{F}}$$

Una vez que el sistema nos determine la cantidad por tipo de producto a cortar para la venta, al igual que nuestra utilidad o función objetivo realizaremos una simulación matemática con el fin de establecer todos los posibles escenarios que puedan darse con este enfoque y a su vez verificar cuales son los parámetros que hacen que esta función decaiga o incremente su valor.

4.2.1. Restricciones del sistema

Recordemos que una restricción es una condición que debe cumplir la solución de un problema de optimización. El sistema a proponer tendrá las siguientes restricciones:

Restricciones de no negatividad para las variables del modelo y la restricción sobre la capacidad de almacenamiento y el límite de unidades que entran en frigorífico.

Como se enuncio en párrafos anteriores la capacidad del frigorífico es para 3600 unidades.

$$CPP_1 + \max CPP_1 + CPP_2 + CPP_3 * 7 \leq 3600$$

4.2. Proceso de Optimización

Recordemos que al resolver nuestra función objetivo podemos encontrar óptimos locales o un óptimo global. Esto se debe a la característica de este problema, el mismo es un problema NP-Duro, en otras palabras podremos encontrar una solución óptima pero la misma puede ser encontrada en un tiempo no deseado por el

decisor. Razón por la cual tenemos que utilizar algoritmos meta heurísticos.

Nos respaldaremos en metaheurísticas conocidas como son el Recocido simulado y los Algoritmos genéticos. Mezclaremos estos métodos y le haremos variaciones con el fin de alcanzar un algoritmo híbrido q mejore el tiempo de respuesta e incluso encuentre mejores soluciones. Recordemos que el recocido simulado es un algoritmo de búsqueda metaheurística que parte de una técnica que involucra el calentado y enfriado controlado de un material para incrementar el tamaño de sus cristales y reducir sus defectos. Una vez conocida esta premisa debemos hacer variar la temperatura en la superficie de ahí obtenemos el término recocido que no es más que la exposición de un sólido a una temperatura elevada y luego enfriarlo lentamente hasta que las partículas, por si solas, se vayan colocando en el estado fundamental del sólido. El proceso pasa por diferentes fases cada vez a menores temperaturas. Para cada fase el sólido puede alcanzar el equilibrio térmico “Estado fundamental”.

En una iteración del proceso de “Enfriamiento” una solución actual X es “perturbada” para producir una nueva alternativa que puede reemplazarla o no. El reemplazo será aceptado o no en función de una regla de aceptación. El proceso se repite iterativamente hasta que se considere que se llevo al óptimo (la solución converge). El término perturbar lo usamos para definir el proceso de obtención de una nueva solución X' a partir de X (es decir, generar un $N(x)$) mientras que el término enfriamiento lo empleamos para especificar una cota que estará dada por un parámetro dinámico T que toma valores cada vez más pequeños. Esto es realizable por el algoritmo de metrópolis el cual expresa lo siguiente:

Si la nueva solución X' hace mejorar la función objetivo Z , reemplazamos X por X' . Caso contrario, se acepta bajo la siguiente condición:

El presente estudio utilizó como distribución de partículas en los diferentes niveles la distribución de Probabilidad Sigmoidal la cual converge a 0.5 para la decisión de *explorar o no* en la generación de soluciones.

La probabilidad de que X' se acepte es:

$$P \Delta Z = 1 / (1 + e^{\frac{-\Delta Z}{CT}})$$

Donde:

$$\Delta Z = (Z X' - Z X)$$

$$C = 0,00138054$$

T es la temperatura.

$$T_{i+1} = \alpha T_i \quad \text{Tal que } \alpha < 1$$

El algoritmo propuesto almacena las mejores soluciones que nos arroja esta técnica y utiliza las mismas como la población inicial del algoritmo genético. Estos individuos (posibles soluciones del problema), se representan como un conjunto de parámetros a los cuales se les denomina genes, al agruparlos forman una ristra de valores que a menudo es referida como cromosoma. La representación matemática que se les da a los individuos puede o no ser dada en código binario {0,1} aunque buena parte de la teoría en la que se fundamentan los algoritmos genéticos utiliza código binario. Se procede de igual manera que el Algoritmo Genético convencional se escoge de esta generación a los padres aleatoriamente y a su descendencia se les aplica los operadores de mutación de genes y de cruzamiento. Lógicamente la descendencia o los hijos deben también pertenecer al espacio de soluciones siguiendo.

A continuación presentaremos el funcionamiento de estos operadores y la variación que hace que Algoritmo se lo llame Híbrido.

4.2.1. La mutación

Tomamos una solución al azar de entre la población inicial seguido se transforma cada vector a un vector de componentes binarias y mutamos uno por una cada componente tomando una posición al azar de cada gen que se encuentra en ese vector y cambiándolo de 0 a 1 o de 1 a 0 según corresponda. Por ejemplo si tenemos el cromosoma=110100 y la posición aleatoria a cambiar es=3 sucede que la parte sombreada cuyo gen=0 muta y se transformaría en 1 y tendríamos un gen nuevo 111100. Ver figura 3.

Volvemos a transformar el vector de binarios a decimales y vemos como ha mejorado la función objetivo, si esta se ha incrementado sin violar ninguna de las restricciones puede tomar el lugar de la primera solución que es la mejor de todas.

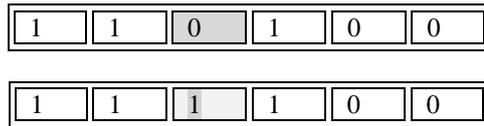


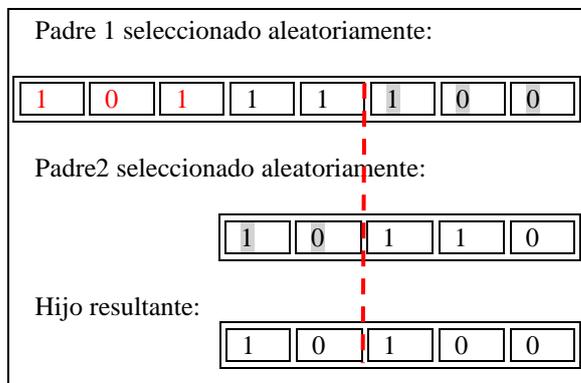
Figura 3. Ilustración de mutación

4.1.2. El Cruzamiento¹:

Se selecciona aleatoriamente dos vectores de la población inicial y se transforma a cada vector en un vector de componentes binarias, ambos serán considerados como el primero y segundo padre respectivamente.

Para el cruzamiento usamos “ONE POINT CROSSOVER”, generamos un número al azar que nos da la posición donde vamos a empezar el intercambio genético desde el vector con longitud más corta. Para resolver conflictos cuando la longitud de los cromosomas sea variable, se ha definido el tamaño del vector cruzado resultante como el tamaño del segundo padre seleccionado. Siempre el primer padre aportará con los genes finales y el segundo padre con los genes iniciales según corresponda la posición aleatoria a cruzar.

Por ejemplo si tenemos el padre1=10111100 y padre2=10110 y posición a cruzar=2 sucede que la parte sombreada del padre2 sería la cabeza del nuevo gen hijo y la parte sombreada del padre1 sería la cola del nuevo cromosoma resultante y la parte roja no se toma en cuenta para el intercambio. Tendríamos un cromosoma nuevo 10100. Ver figura 4. Luego se vuelve a transformar el vector hijo de binarios a decimales y se evalúa en la función objetivo, si esta se ha incrementado sin violar ninguna de las restricciones tomará la primera posición que es la mejor de todas.



¹ Esta técnica de cruzamiento ha sido desarrollada por los autores.

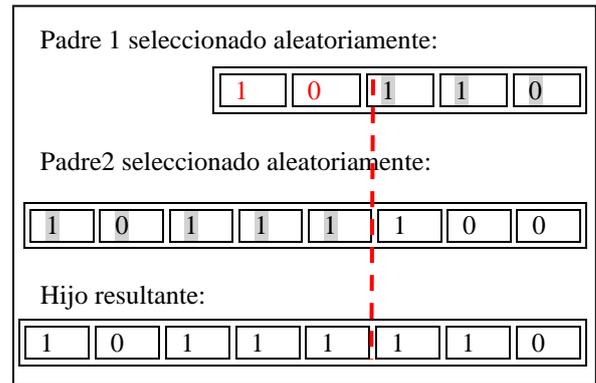


Figura 4. Ilustración de cruzamiento.

5. Resultados

Para implementar los métodos de simulación y optimización anteriormente detallados se desarrolló un aplicativo en plataforma Java que es un lenguaje de programación de alto nivel orientado a objetos. Actualmente todo el paquete Java de Sun es software libre.

Una vez que nuestras variables de control fueron ingresadas al sistema tenemos que contrastar esta situación real con otras situaciones que puedan referirse a políticas nuevas de la firma y supuestos que el usuario quiera evaluar para en un futuro realizar políticas de abasto, ventas o de corte.

5.1. Módulo de Simulación

El negocio de la firma es rentable ya que con las políticas actuales y en todos los posibles resultados de las ventas simuladas se obtendrán utilidades mayores a \$1173,30, con el aumento de los gastos fijos como mínimo la empresa tendrá utilidades de \$1049,06. Otro dato interesante en esta figura es la que enuncia un faltante en los inventarios de un promedio 280,25 tipos de producto los cuales se detallan de 140,12 pollos enteros; 51,85 pollos despresados por presentación de piernas; 25,22 presentaciones de producto tipo ala y 63,06 pechugas.

Otra situación que expondremos es el caso en que incrementamos el precio de venta del ala de pollo en un 11% es decir de \$0,85 que se comercializa en la actualidad a \$1,0 y realizando un decremento en los costos fijos a \$875,76.

Presentando el promedio de las ventas diarias tenemos que se estiman venderse 1167,88 unidades de pollos enteros, 864,23 unidades del

tipo de producto muslo, 1051,09 pechugas, 420,44 alas y 2335,76 menudencias. Con esta nueva estrategia se obtendrá utilidades mayores a \$ 1203,00 mientras que con la actual la utilidad se mantendrá en \$1203,00.

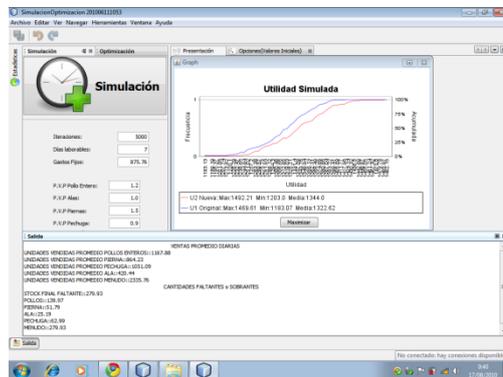


Figura 5. Módulo de Simulación y presentación de resultados

5.2. Módulo de Optimización

Debido a que existen un gran número de posibles soluciones obtenidas en el proceso de simulación el módulo de optimización obtendrá un máximo local a un mínimo costo de recurso tecnológico. La figura 6 representa el vector óptimo de cortes que maximizara la utilidad de la empresa. A continuación presentamos el vector de cortes óptimos que nos generará un mayor ingreso, después de restar los costos indirectos, directos y gastos.

Pollos enteros	1000 Unidades
Alas	225 Unidades
Pechuga	500 Unidades
Pierna	225 Unidades
Menudencias	1500 Unidades

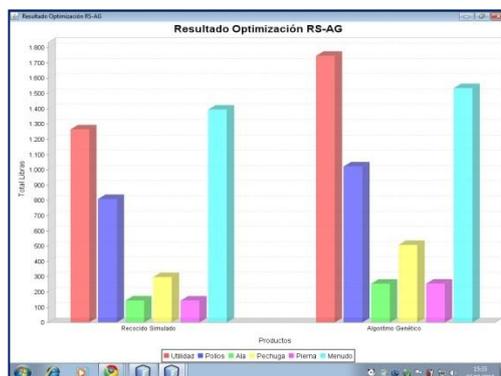


Figura 6. Resultado de mejores soluciones entre algoritmos

6. Conclusiones

1. Siendo la simulación un método robusto, la solución inicial encontrada aplicando recocido simulado es optimizado con la implementación del algoritmo genético logrando encontrar una mejor solución.
2. Se valida la eficacia en la implementación de soluciones innovadoras para problemas comerciales a través de métodos y modelos de optimización heurísticas.
3. El sistema para la simulación y optimización fue desarrollado a través de programas open source lo que significa cero costos en licencias para la empresa que desea poner en producción la aplicación.
4. El proyecto ha logrado desarrollar código reutilizable para la implementación de futuras aplicaciones.
5. El presente proyecto ha permitido integrar conocimientos estadísticos y computacionales sinergizándolos en el desarrollo de una herramienta práctica de uso comercial.

7. Referencias

Bezdeck, J. C., Boggavaparu, S., Hall, L. O. y Bensaid, A. (1994). *Genetic algorithm guided clustering*, in Proc. of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation, 3440.

Davis, L. (1991). *Handbook of Genetic Algorithms*. New York. Van Nostrand Reinhold.

Goldberg, David E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

Miller, B.L., Goldberg, D.E. (1995). *Genetic algorithms, Selection Schemes and the Varying Effects of Noise*, IlliGAL report No. 95009.

Citeseerx. The NEC Research Institute Digital Library. Sitio dedicado a la difusión de literatura científica. <http://citeseerx.ist.psu.edu>