

Planificación productiva del procesamiento pesquero en Santiago de Cuba mediante programación lineal

Production planning of fishing processing in Santiago de Cuba with linear programming

Jorge Israel Frómeta-Moya * <https://orcid.org/0000-0001-6630-5753>

Tahimí Labrada-Díaz <https://orcid.org/0000-0002-5568-9963>

*Autor para la correspondencia: jorgef@uo.edu.cu

Resumen

La industria pesquera cubana optimiza sus procesos ante los retos de los continuos cambios: económicos, financieros y sociales. Se requiere de decisiones tomadas con respaldo científico para maximizar el beneficio económico y financiero con enfoque social. Dicho enfoque es inherente al sistema empresarial estatal de Cuba y debe responder a las restricciones que impone el ambiente interno y externo. Por ello, se presenta un modelo de programación lineal para la planificación de la producción en la industria de procesamiento pesquero en Santiago de Cuba que contribuya a la toma de decisiones efectivas. La aplicación del modelo, en una entidad, permite que los decisores: conozcan los productos y materias primas más rentables y mejoren la producción cumpliendo con las restricciones del proceso productivo.

Palabras clave: modelo matemático; programación lineal; planificación de la producción; industria de procesamiento pesquera.

Abstract

The Cuban fishing industry is optimizing its processes in the face of continuous change: economic, financial, and social. Decisions made with scientific support are required to maximize the economic and financial benefits with a social focus. This approach is inherent to the Cuban state business system and must respond to the restrictions imposed by the internal and external environment. Therefore, a monthly linear programming model is presented for production planning in the fish processing industry in Santiago de Cuba that contributes to effective decision-making. Application of the model in an entity allows decision-makers to know the most profitable products and raw materials and improve production while complying with the restrictions of the production process.

Keywords: *mathematical model; linear programming; production planning; fishery processing industry.*

Introducción

Para una gestión empresarial eficiente y eficaz es fundamental realizar una correcta planificación y control de la producción. Según López et al. (2017) “la selección científicamente argumentada de la mejor alternativa de plan de producción de la empresa (variante óptima), que garantice el mayor efecto económico para la organización, con la utilización racional de los recursos disponibles, constituye una de las importantes soluciones y decisiones de la economía empresarial” [1]. Esta es una realidad para el mundo empresarial a escala global, por lo que no son pocos los autores que han explorado la utilización de métodos de optimización.

La planificación empresarial es un proceso técnico, económico y organizativo complejo, que ayuda a las empresas a cumplir sus objetivos a corto y mediano plazo. Según Hernández et al. (2017), “para Cuba la planificación es, además, un proceso que expresa el interés en el uso adecuado de los recursos disponibles y la voluntad de priorizar el aporte de las empresas estatales a la sociedad, por encima de cualquier interés colectivo o individual” [2]. En la actualidad cubana, como parte de la Tarea Ordenamiento y el cumplimiento de sus objetivos, se ha hecho evidente la necesidad de cambiar la manera de proceder en el sistema empresarial. Lograr que la empresa estatal socialista tenga el lugar que le corresponde en la economía nacional es uno de los retos que trae consigo la Tarea Ordenamiento. El proceso de planificación de la producción debe adaptarse a la nueva realidad, y para ello, los procesos deben ser rediseñados en aras de optimizar operaciones, mejorar basado en la seguridad y la fiabilidad de los datos e incluir nuevas estrategias, métodos y formas de proceder.

En el orden práctico, la planificación de la producción es un proceso multidisciplinario, integral, y complejo, por lo que se hacen necesarios instrumentos metodológicos que permita tomar en cuenta de manera armónica los elementos que influyen en su gestión: fichas de costo, disponibilidad de recursos, secuencias tecnológicas, estructuras productivas, entre otros. Todos estos elementos manejados por herramientas cuantitativas que respondan a los objetivos que se persigan con fiabilidad [2]. El estudio de la planificación de la producción tiene múltiples clasificaciones de acuerdo a diferentes taxonomías realizadas por muchos autores tales como Fadaei et al. (2022) y Belil et al. (2018), una de ellas es el marco temporal que abarca la planificación. Basado en esto la planificación de la producción suele clasificarse en estratégica o a largo plazo, táctica o a mediano plazo y operacional o a corto plazo [3;4].

En su concepción teórica, la planificación de la producción debe estar basada en la aplicación de distintos métodos científicamente fundamentados, entre los que se encuentra la programación matemática. El campo de la programación matemática aplicada a la planificación de la producción puede dividirse en varias categorías como la programación dinámica, programación multiobjetivo, programación estocástica, programación lineal, entre otras [5]. La programación lineal, aplicada a la planificación de la producción, es una de las herramientas a las que mayor uso se le ha dado por sus ventajas para representar gran variedad de problemas, y por las facilidades que brinda para determinar su solución óptima. Los niveles de

PLANIFICACIÓN PRODUCTIVA DEL PROCESAMIENTO PESQUERO EN SANTIAGO DE CUBA MEDIANTE PROGRAMACIÓN LINEAL

organización y control que alcanzan los procesos con el uso de esta técnica, permiten el uso eficiente de los recursos, al disminuir las pérdidas e incrementar los resultados productivos [6]. Posee una amplia contribución a la reducción de costos y al ahorro de recursos en todo tipo de organizaciones a nivel mundial, lo cual le otorga más relevancia cada día entre la comunidad científica internacional [7].

En la industria moderna, el uso de la programación lineal como herramienta para determinar las variables de entrada en el proceso de fabricación es trascendental para orientar la elaboración de productos más rentables y determinar así los escenarios de mayor utilidad. Esto permite a los directivos de una organización generar recomendaciones acerca de la fabricación de productos, para optimizar la producción dejando de fabricar los que menos ingresos generen a la empresa [8]. Se han reportado, en la literatura científica, numerosas aplicaciones de la programación matemática y específicamente de la programación lineal en el campo de la planificación de la producción, entre ellos se encuentran las investigaciones enfocadas en la industria de procesamiento pesquero. En dicha industria se señalan a: Hasan & Raffensperger (2006) y Abedi & Zhu (2017) que utilizan la programación lineal mixta, y Bakhrankova et al. (2014) que propone un modelo de optimización estocástico [9; 10; 11].

No se encontraron investigaciones en la industria pesquera cubana, lo que evidencia ausencia de experiencias y herramientas científicamente validadas que le permitan al sector afrontar los retos de su entorno, dentro de la planificación de la producción con sus características particulares. Esto es especialmente válido si se considera el papel de la empresa estatal cubana en su gestión empresarial que debe ir más allá de la búsqueda de la rentabilidad económica como meta principal e incorporar un enfoque social igual de importante. No se encuentra dentro de la literatura revisada investigaciones con este enfoque dentro de la planificación de la producción con herramientas de programación matemática. El enfoque social en este sentido suele reducirse a las consideraciones sociales a lo interno de las organizaciones o el impacto indirecto en la sociedad debido a la eficiencia económica [12].

Por otra parte, la utilización de la programación matemática para la planificación de la producción está dentro de la disciplina de estudio comúnmente llamada Investigación de Operaciones. Esta disciplina cuenta con todo un arsenal de métodos, técnicas y herramientas, partiendo de una metodología que permita tener éxito en su utilización. Bertrand & Fransoo (2002) reconocen que ha habido poco interés en el estudio de las metodologías dentro de la Investigación de Operaciones, las propuestas suelen ser muy similares como Mitroff et al. (1974) y Hillier & Lieberman (2010) ya que el enfoque suele dirigirse al aspecto matemático y operacional [13; 14; 15]. Sin embargo, se reconoce la necesidad de aportes en este sentido que permitan acercar todavía más los modelos que se proponen en el campo de la Investigación de Operaciones y la realidad operativa que describen, así como sus objetivos [13].

Por lo anterior, en este trabajo se presenta un modelo de programación lineal mensual para la planificación de la producción en la industria de procesamiento pesquero en Cuba, por un mes que contribuya a la toma de decisiones efectiva por parte de los decisores en esta área. Se busca conocer los productos y materias

primas más rentables, así como la mejor combinación de cantidades a producir cumpliendo con las restricciones del proceso productivo.

Para ello se sigue la metodología clásica de resolución de problemas propios de la Investigación de Operaciones propuesta por Hillier & Lieberman (2010) y citada por Moya et al. (2020), introduciendo ciertas adaptaciones con vista al cumplimiento del objetivo propuesto [15; 16]. Se tiene en cuenta como parte de la modelación realizada el carácter de responsabilidad social concurrente con la rentabilidad económica, propio de la gestión empresarial en la empresa estatal socialista en Cuba y específicamente en la industria pesquera. Para demostrar la factibilidad de uso y potencial impacto del modelo propuesto se aplica a una situación específica de la planificación de la producción de una entidad de la industria pesquera de la región oriental. La aplicación del modelo propuesto en una entidad le permite conocer a los decisores los productos y materias primas más rentables, así como la mejor combinación de cantidades a producir cumpliendo con las restricciones del proceso productivo.

Métodos

Las fases o pasos principales a seguir para la implementación de la investigación de operaciones en la resolución de un problema se pueden resumir en: la definición del mismo, la construcción del modelo, la solución del modelo, la validación del modelo, y la implementación de la solución [15; 16]. La presente investigación toma como guía metodológica este procedimiento a fin de cumplimentar el objetivo que se propone, aunque se le añade un paso, en opinión de los autores necesario.

Se considera muy útil añadir un paso que contemple el análisis y mejora de los factores claves dentro del proceso de planificación de la producción y que constituyen parámetros sensibles dentro del modelo, a fin de hacer más exhaustivo el análisis que conduzca a una planificación óptima. Como parte de esta fase, se define como factores claves a mejorar para un plan de producción óptimo: los costos unitarios variables de cada producto y la capacidad instalada de los procesos productivos, así como su aprovechamiento. El precio unitario por producto como factor no se contempla en el análisis porque algunos tienen un carácter centralizado fuera del control de la entidad, y el resto se fija de acuerdo a los costos unitarios de los productos, siendo por tanto una consecuencia de estos. Tampoco se analizan las normas de consumo de las materias primas fundamentales y su disponibilidad por constituir parámetros invariables dentro de la industria y su situación a corto y mediano plazo.

- El análisis derivó en la proposición de un conjunto de acciones de mejora en los factores considerados a fin de hacer al modelo más fiable como herramienta óptima de planificación de la producción en la entidad. Estas acciones se reflejan a continuación:
- Revisión de las fichas de costo y el asentamiento correcto y actualizado de los costos variables unitarios, fundamentalmente asociados a los inventarios de materias primas y materiales por su variabilidad en el tiempo.

PLANIFICACIÓN PRODUCTIVA DEL PROCESAMIENTO PESQUERO EN SANTIAGO DE CUBA MEDIANTE PROGRAMACIÓN LINEAL

- Realización de estudios de organización del trabajo para actualizar normas de rendimiento y con ello el sistema de pago a destajo de la mano de obra directa, también conocer la capacidad instalada real de los procesos productivos, así como las reservas de productividad existentes.

La Figura 1 muestra la diferencia entre el procedimiento que se toma como base y el cambio propuesto, siendo este último el método a seguir por la presente investigación para resolver la problemática planteada y con ello cumplir el objetivo.

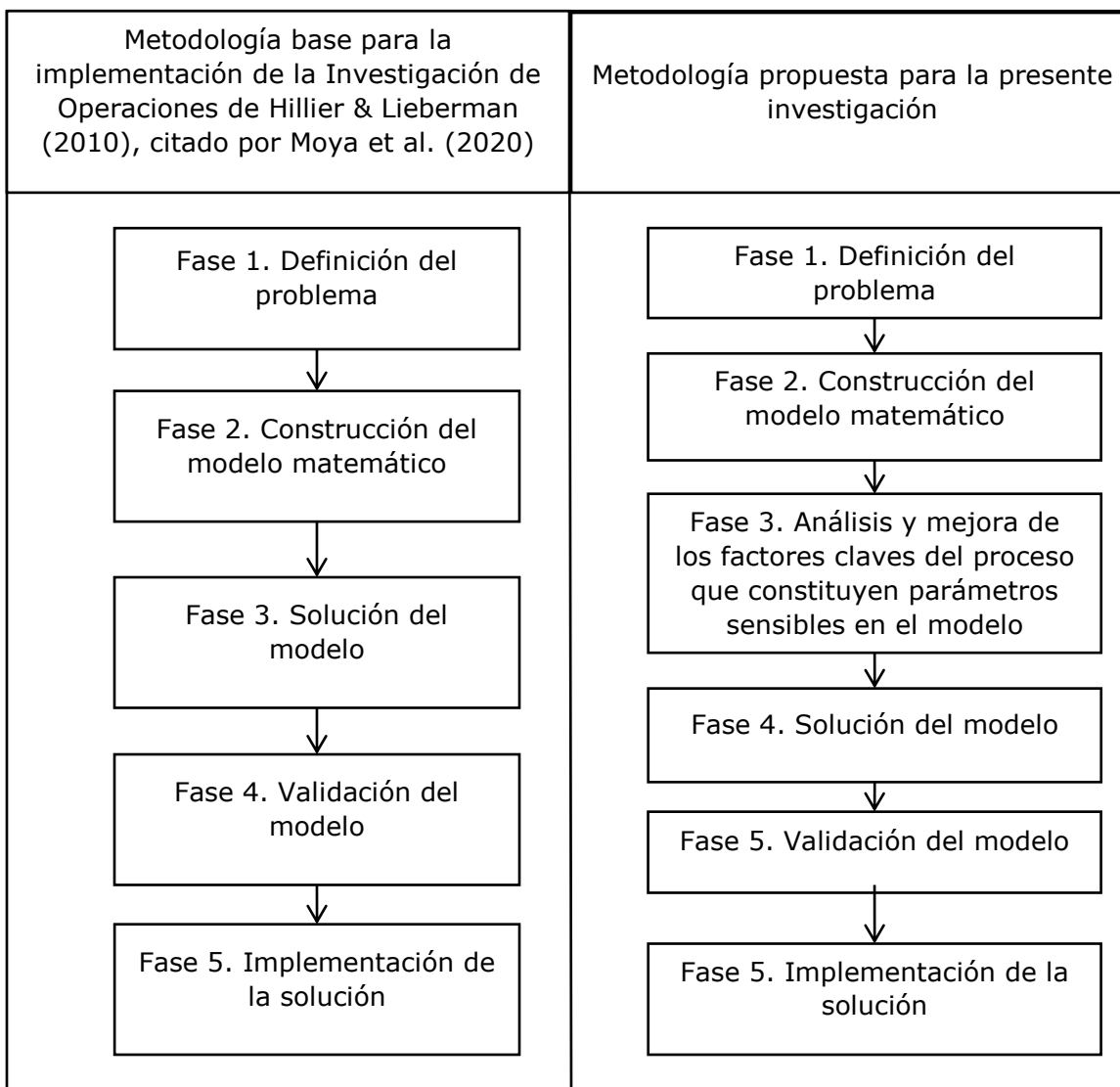


Fig. 1 - Comparación entre el procedimiento base para implementar la investigación de operaciones y el propuesto.

Resultados

A continuación, se evidencian los resultados obtenidos al aplicar la investigación de operaciones para la solución de la situación problemática planteada.

Definición del problema

Insuficiencias en el proceso de planificación mensual de la producción en una empresa de procesamiento de productos pesqueros que afectan la eficiencia y la eficacia en dicho proceso.

Datos relevantes: se definieron los supuestos que sirven de base para el modelo económico matemático:

Para la realización del modelo matemático hay que tener en cuenta que:

- Las producciones a realizar tienen como base un conjunto de materias primas fundamentales cuya disponibilidad y normas de consumos son conocidas.
- El resto de insumos de materias primas y materiales no fundamentales no se consideran en el modelo por considerarse no restrictivos de acuerdo al análisis efectuado.
- Las capacidades instaladas en los procesos industriales y las normas de rendimiento asociadas a las producciones a realizar son conocidas.
- Las producciones a realizar con destino social, planificadas y convenidas, son de obligatorio cumplimiento independientemente del criterio económico a optimizar. Se entiende como destino social aquellas producciones dedicadas al consumo gratuito o subsidiado en el sector educacional o de la salud.
- El criterio económico a optimizar es la maximización de la utilidad operacional, entendida esta última como la diferencia entre el precio unitario aprobado del producto final menos el costo variable unitario del producto final de acuerdo a su ficha de costo.

Construcción del modelo matemático

El modelo matemático propuesto para la planeación de la producción es un modelo de programación lineal, definiéndose los elementos que lo componen:

- Definición de conjuntos que constituyen índices dentro del modelo:

i: Conjunto de productos finales a planificar en el periodo.

j: Conjunto de materias primas fundamentales que resultan necesarias y restringen las producciones a planificar.

k: Conjunto de procesos industriales que resultan necesarios realizar y restringen las producciones a planificar

s: Conjunto de productos finales con destino social a planificar en el periodo, cuya producción mínima debe ser superior a lo previamente planificado y convenido. Este conjunto constituye un subconjunto del conjunto i: $s \subseteq i$.

- Definición de parámetros dentro del modelo:

P_i : Precio unitario aprobado del producto i.

C_i : Costo unitario variable del producto i.

NC_{ij} : Norma de consumo de la materia prima j por cada unidad de producto i.

DM_j : Disponibilidad en el periodo de la materia prima j.

CI_{ik} : Capacidad máxima instalada del proceso k respecto al producto i.

A_k : Coeficiente de aprovechamiento de la capacidad instalada del proceso k en el periodo. Se expresa como una fracción entre 0 y 1, representando 0 un aprovechamiento nulo y 1 un aprovechamiento del 100% de la capacidad.

PLANIFICACIÓN PRODUCTIVA DEL PROCESAMIENTO PESQUERO EN SANTIAGO DE CUBA MEDIANTE PROGRAMACIÓN LINEAL

PM_s : Producción mínima con destino social del producto n .

- Definición de variables de decisión dentro del modelo:

X_i : Cantidad de toneladas a producir en un mes del producto i

Modelo matemático de programación lineal:

Función Objetivo: $MaxZ = \sum_{i=1}^n ((P_i - C_i) * X_i)$ (1)

Sujeto a: $\sum_{i=1}^n (NC_{ij} * X_i) \leq DM_j, \forall j$ (2)

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{CI_{ik}} \right) \leq A_k, \forall k$$
 (3)

$$X_i \geq PM_s, \forall (i = s)$$
 (4)

$$X_i \geq 0, X \in R, \forall i$$
 (5)

La Función Objetivo representada en la Expresión 1 maximiza la suma total de la utilidad operacional de acuerdo al precio y el costo de cada producto que se decida producir.

La Expresión 2 modela las restricciones que imponen la disponibilidad de materias primas fundamentales. Representan que, para cada materia prima fundamental en el proceso de producción, lo que se decida producir por su norma de consumo no puede exceder la disponibilidad planificada de las mismas.

Las restricciones formuladas en la Expresión 3 expresan la relación que existe entre lo que se decida producir de cada producto y la capacidad instalada en cada proceso respecto a cada producto. Esta relación no puede ser superior al aprovechamiento de la capacidad total previsto para cada proceso.

La Expresión 4 constituye la restricción respecto a las producciones con destino al consumo social, estableciéndose que para cada producto destinado con ese fin, lo que se produzca no puede estar por debajo de las cantidades planificadas y convenidas.

La Expresión 5 constituyen la restricción de no negatividad de las variables de decisión, así como la pertenencia de estas variables al conjunto de los números reales.

Solución y validación del modelo (mediante un caso de estudio en un periodo determinado)

Se evalúa la viabilidad del modelo que se propone mediante la solución de un estudio de caso a partir de una situación real en la planificación de la producción de la industria pesquera de Santiago de Cuba en un mes dado. Con los datos reales de entrada al proceso de planificación de la producción en este mes se implementó el modelo haciendo uso del módulo Pyomo del lenguaje de programación Python y el *solver CBC*, las cuales son herramientas de libre acceso ampliamente utilizada para resolver problemas de optimización matemática [17]. El caso particular que se propone genera un modelo compuesto por 22 variables y 34 restricciones.

Para evaluar la viabilidad del modelo que se propone como alternativa de mejora respecto al proceder actual de la planificación de la producción se establece una comparación resumida en la tabla 1. Al tratarse de información confidencial por sus implicaciones comerciales, solo se muestran las siglas de los nombres de los productos tanto en la tabla 1 como en las figuras 2 y 3. Los resultados que se muestran validan al modelo propuesto como una alternativa superior.

Tabla 1 - Comparación entre la planificación de la producción real del mes de referencia y la planificación obtenida del modelo.

Id. producto	Utilidad marginal (Pesos/tonelada)	Producción plan real (toneladas)	Utilidad plan real (Pesos)	Producción plan modelo propuesto (toneladas)	Utilidad plan modelo propuesto (Pesos)
MT	7036,24	24,00	168869,76	10,00	70362,40
CT	7176,98	11,00	78946,78	8,00	57415,84
MHT	4782,33	6,00	28693,98	0,00	0,00
HT	-8632,73	1,00	-8632,73	0,00	0,00
TE	291,00	0,41	119,31	0,00	0,00
TT	8482,00	2,37	20102,34	0,00	0,00
FT	5898,37	2,10	12386,58	0,00	0,00
PT	27278,25	1,83	49919,20	0,00	0,00
BT	33615,58	3,01	101182,90	0,00	0,00
RT	29859,38	5,67	169302,68	12,69	378915,53
TA	60432,88	0,10	6043,29	13,00	785627,44
TiE	291,10	1,37	398,81	0,00	0,00
TiEE	3321,70	2,40	7972,08	0,00	0,00
Fti	26980,48	0,00	0,00	1,34	36153,84
Mti	-9609,14	0,06	-576,55	0,00	0,00
FC	-80154,65	0,70	-56108,26	0,00	0,00
RC	-23256,04	2,73	-63488,99	0,00	0,00
TC	9842,38	0,70	6889,67	3,24	31889,31
MM	8765,57	3,00	26296,71	7,00	61358,99
CM	7333,50	2,00	14667,00	3,63	26620,61
MHM	-4458,98	1,90	-8472,06	0,00	0,00
HT	-54736,93	1,00	-54736,93	0,00	0,00
Total		73,35	499775,57	58,90	1448343,96

Los resultados obtenidos y la comparación establecida permiten hallar aspectos de interés. Uno de ellos es que el plan que se propone a partir de la solución del modelo respecto a la producción real, tiene en cuenta una menor cantidad de productos a producir, y también un menor volumen de producción en toneladas totales, tal como se puede observar en la figura 2.

**PLANIFICACIÓN PRODUCTIVA DEL PROCESAMIENTO PESQUERO EN SANTIAGO DE CUBA
MEDIANTE PROGRAMACIÓN LINEAL**

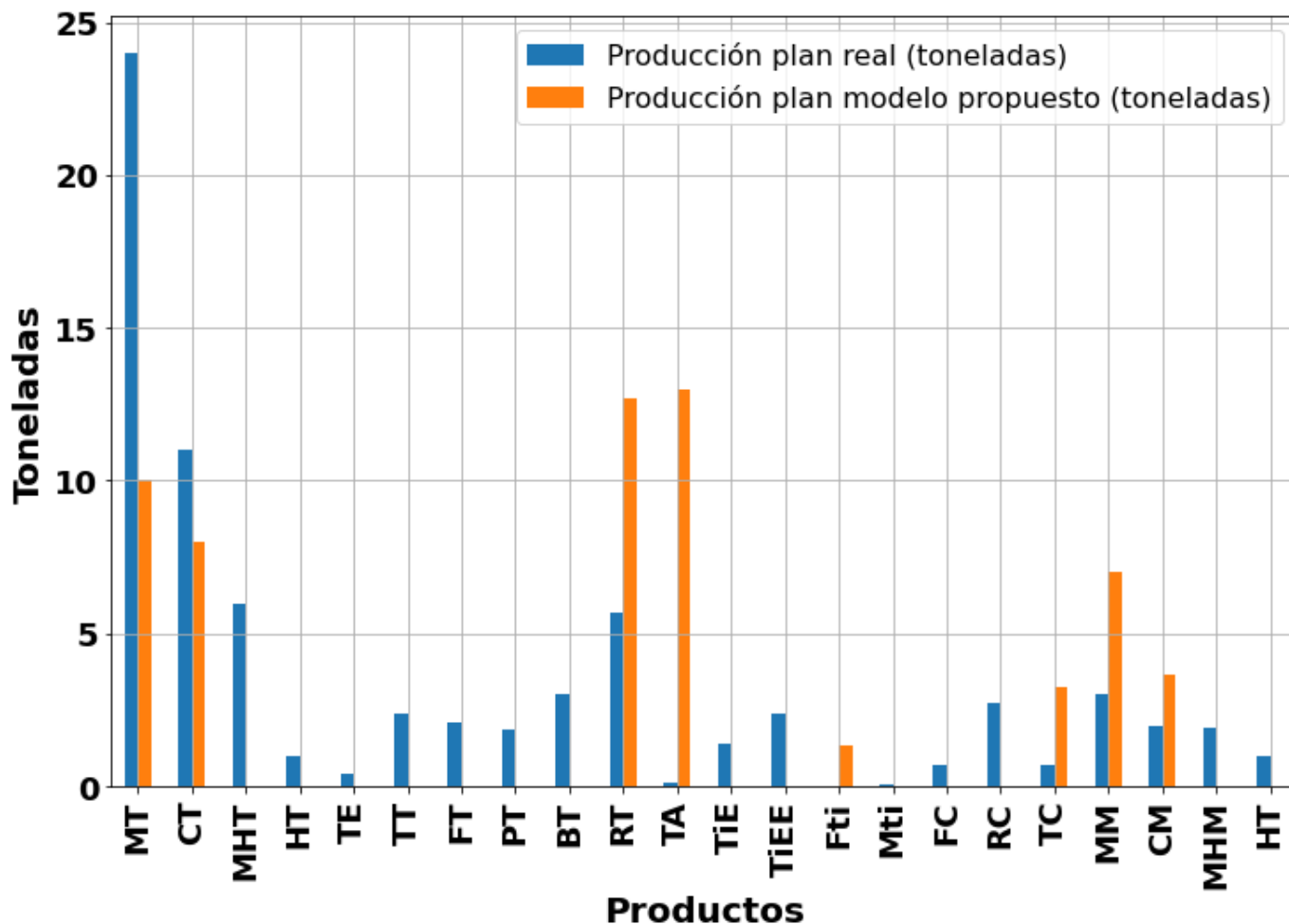


Fig. 2. Comparación entre el plan real y el plan obtenido del modelo, respecto a los volúmenes de producción por productos.

Una deficiencia palpable de la planificación real es la producción de productos no rentables y que no se encuentran contemplados en la restricción del destino social, contribuyendo con ello a introducir pérdidas en el balance económico. Todo esto se ve reflejado en la figura 3.

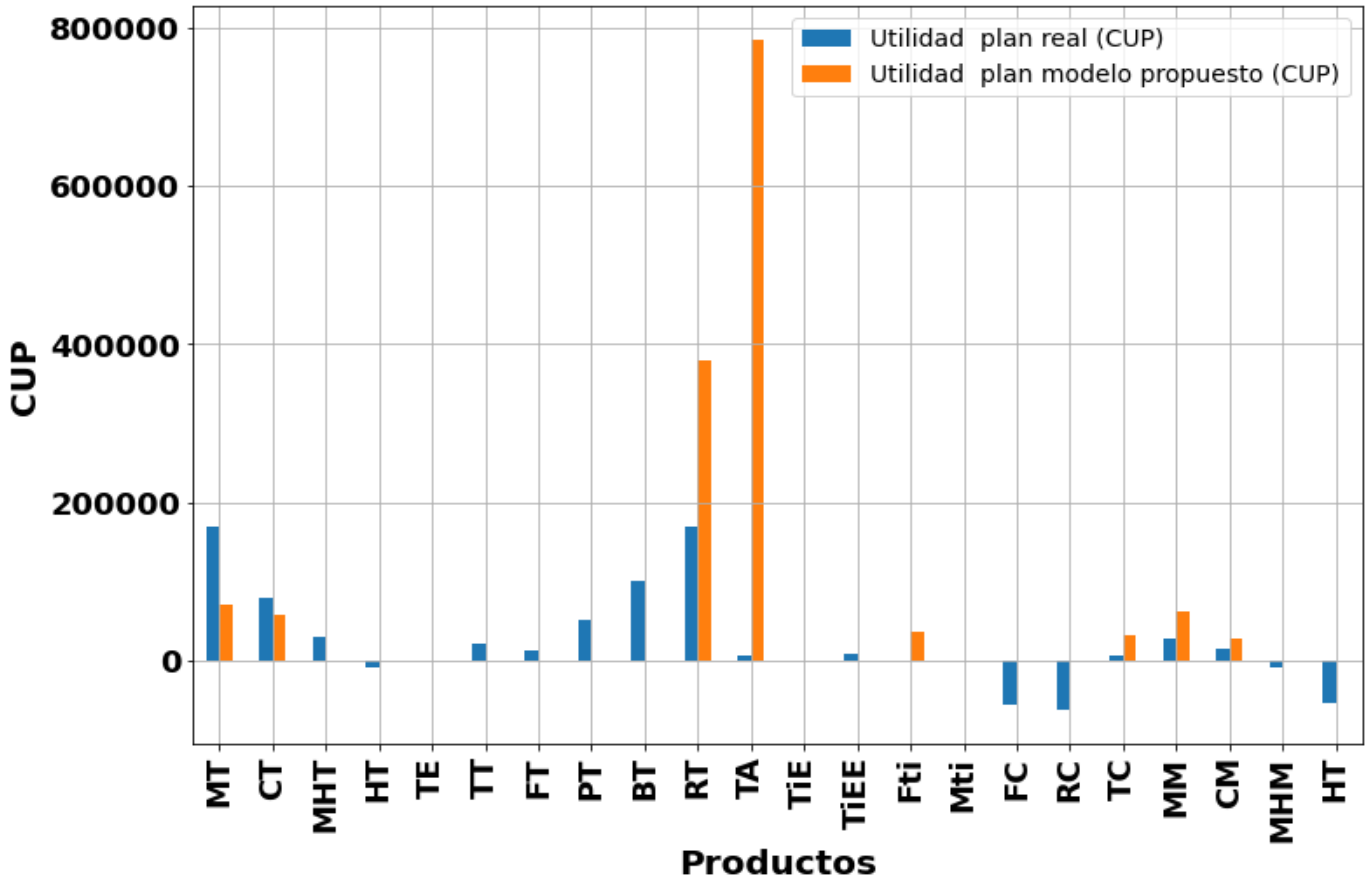


Fig. 3. Comparación entre el plan real y el plan obtenido del modelo, respecto a las utilidades generadas por productos.

En el mes que se toma como patrón de comparación se pudo obtener una utilidad hipotéticamente superior en 948568.39 Pesos Cubanos (CUP) (Figura 4).

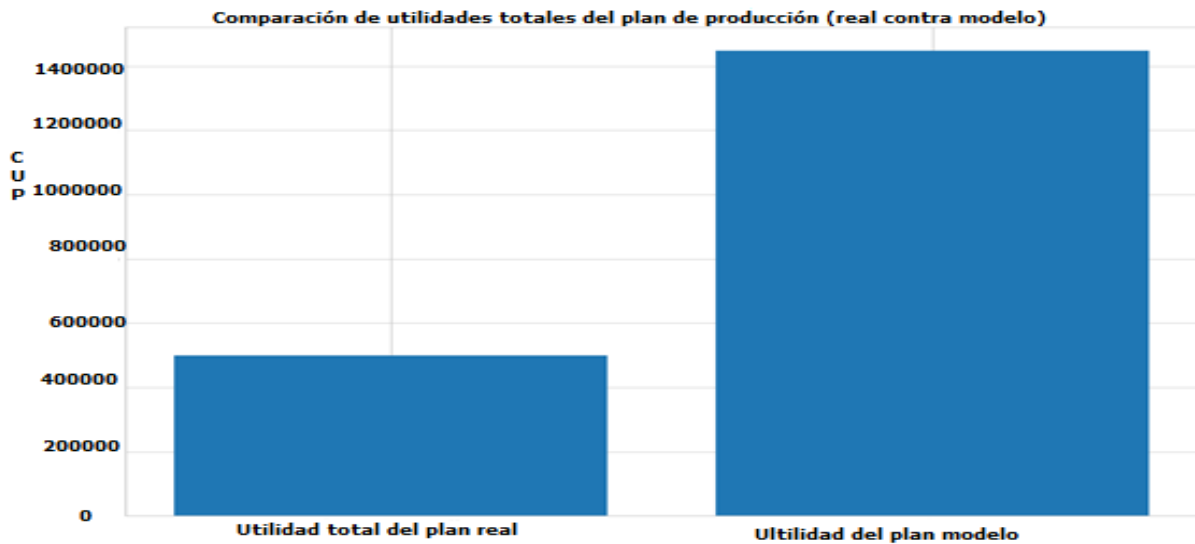


Fig. 4. Comparación entre el plan real y el plan obtenido del modelo, respecto a las utilidades totales.

PLANIFICACIÓN PRODUCTIVA DEL PROCESAMIENTO PESQUERO EN SANTIAGO DE CUBA MEDIANTE PROGRAMACIÓN LINEAL

La Figura 5 muestra que la materia prima más rentable en caso de disponibilidad en el mes analizado es el MDM, con un potencial de más de 20000 pesos de utilidad por cada tonelada disponible adicional al plan. Las materias primas Tenca, Tilapia y Claria le siguen en importancia por ese orden.

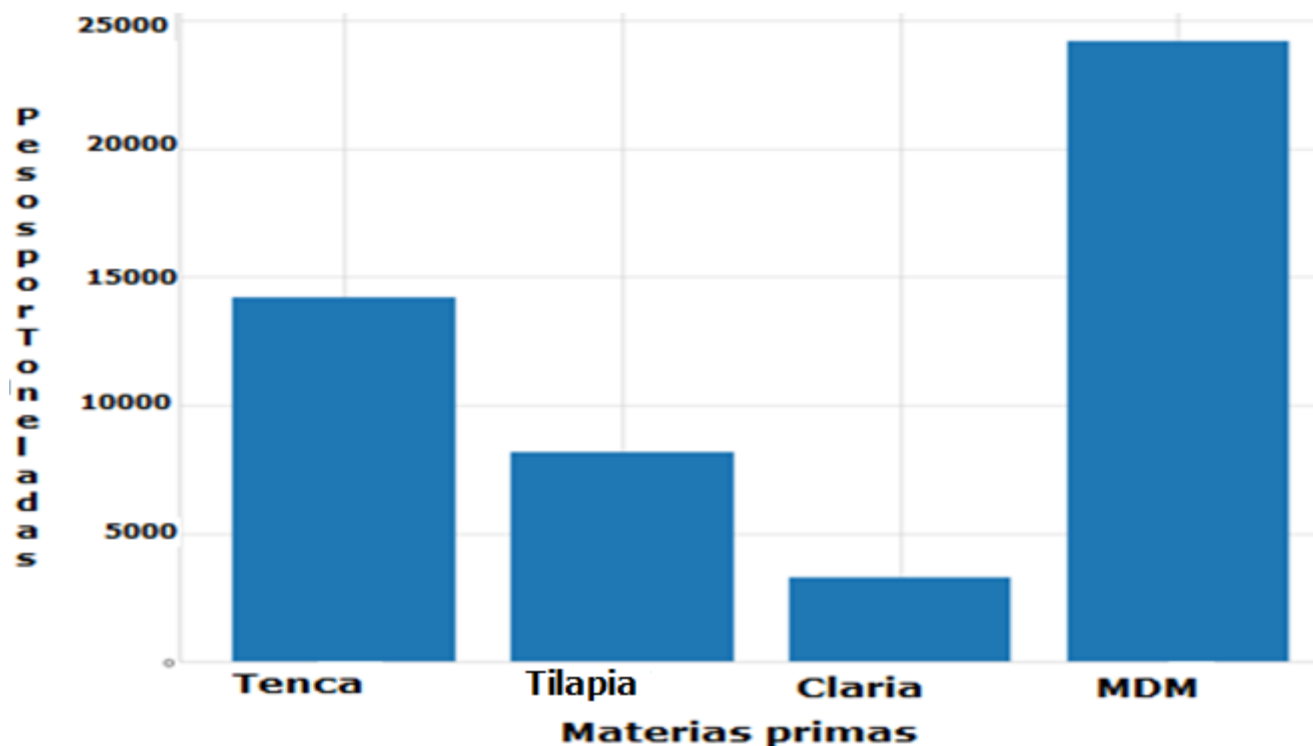


Fig. 5 - Comparación entre los precios sombras de las materias primas fundamentales.

Discusión

La aplicación de la metodología propuesta y los resultados alcanzados evidencian potencialidades de la utilización de la programación lineal dentro de la planificación de la producción en la industria pesquera cubana. Esto se muestra en el hecho que el modelo propuesto optimiza las utilidades y por tanto prioriza los productos más rentables, teniendo en cuenta las restricciones planteadas; incluidas las de producciones con destino social, que confieren factibilidad a la propuesta.

Como aspecto más relevante a considerar en la comparación realizada es que la planificación producto del modelo propuesto es muy superior en términos de utilidades generadas que la planificación real para el mes específico escogido como caso de estudio.

Se puntualiza que las utilidades que se tienen en cuenta en el análisis son utilidades operativas, que solo tienen en cuenta los precios aprobados y los costos variables. Por ello las utilidades totales, que incluyen los costos fijos, aun sin tomar en cuenta impuestos e intereses serían mucho menores, pudiendo incluso incurrir en pérdidas.

No obstante debido a la propia naturaleza de los costos fijos y variables y el objetivo de la investigación que se muestra el análisis se considera válido.

Otro elemento de mucho interés de la solución del modelo propuesto y que valida su utilización para la toma de decisiones es el análisis post-optimal del mismo. Producto a este se puede conocer los precios sombras de las materias primas fundamentales, y con ello conocer cuál sería las utilidades generadas por cada tonelada de materia prima disponible por encima de lo planificado. Esto permitiría gestionar mejor el proceso de aprovisionamiento, estableciendo prioridades al respecto.

Conclusiones

1. La utilización de la programación matemática, y específicamente la programación lineal en el campo de la planificación de la producción juega un papel fundamental en el logro de resultados superiores de la gestión empresarial. La utilización de esta herramienta con un enfoque metodológico acorde a la situación problemática que se aborde ayuda a encontrar reservas de eficiencia económica incorporando un enfoque social.
2. Con el modelo matemático propuesto los decisores de la gestión de la producción en la industria pesquera cubana cuentan con una herramienta que les puede brindar resultados superiores a los métodos que utilizan actualmente.
3. Con dicho modelo es posible conocer los productos y materias primas más rentables, así como la mejor combinación de cantidades a producir cumpliendo con las restricciones del proceso productivo lo que incluye aquellas emanadas del enfoque social que en ocasiones debe primar sobre el económico.

Referencias

1. LÓPEZ CALVAJAR, GA; CASTRO PERDOMO, NA; GUERRA, O. "Optimización del plan de producción: estudio de caso carpintería de aluminio". Revista Universidad y Sociedad. 2017; 9(1): 178-186. ISSN 2218-3620.
2. HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, NR; LORA FREYRE, RJ, MORENO GARCÍA, RR; PARRA PÉREZ, KM; FAJARDO ALCOLEA E. "Planificación de la producción industrial con enfoque integrador asistido por las tecnologías de la información". Retos de la Dirección. 2017; 11(1): 38-59. ISSN 2306-9155.
3. FADAEI, S; POOYA, A; SOLEYMANIFARD, O. "Taxonomy of Production Systems with Combining K-Means and Evolutionary Algorithms". Journal of Advanced Manufacturing Systems. 2022; 21(03): 515-536.
4. BELIL, S; KEMMOÉ-TCHOMTÉ, S; TCHERNEV, N. "MILP-based approach to mid-term production planning of batch manufacturing environment producing bulk products". IFAC-PapersOnLine. 2018; 51(11): 1689-1694. ISSN 2405-8963.
5. SHAPIRO, JF. "Mathematical programming models and methods for production planning and scheduling". Handbooks in operations research and management science. 1993; 4: 371-443. ISSN 0927-0507.
6. RECIO-AVILÉS, R; LÓPEZ-TAMAYO, P. "Planificación de la producción de embutidos de jamonadas con el uso de modelos matemáticos (original)". redel

PLANIFICACIÓN PRODUCTIVA DEL PROCESAMIENTO PESQUERO EN SANTIAGO DE CUBA MEDIANTE PROGRAMACIÓN LINEAL

- [internet]. 29 de octubre de 2018 [citado 27 de diciembre de 2021]; 1(2):149-62. Disponible en: <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/view/455>.
7. CAICEDO-ROLÓN, A; CRIADO ALVARADO, A; MORALES RAMÓN, K. "Modelo matemático para la planeación de la producción en una industria metalmecánica". [Internet]. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República; 2019-09-30. [citado: 2021, diciembre] 12 páginas Scientia et Technica. Disponible en: <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/773>.
 8. APARICIO, UJ; BORJAS, FD; GROSSKEWING, NG; GARCÍA, SL. "Modelación de escenarios mediante programación lineal y muestreo aleatorio simple". 2016. En: Congreso Interdisciplinario de Ingenierías, Veracruz. Instituto Tecnológico Superior de Misantla 156 p. ISSN 2395-9649. Disponible en: <http://pmii.itsm.edu.mx/productividad/CII/memoriacii2016.pdf>
 9. HASAN, MB; RAFFENSPERGER, JF. A mixed integer linear program for an integrated fishery. ORiON. 2006; 22(1): 19-34.
 10. ABEDI, A; ZHU, W. "An optimisation model for purchase, production and distribution in fish supply chain—a case study". International Journal of Production Research. 2017; 55(12): 3451-3464. ISSN 0020-7543.
 11. BAKHRANKOVA, K; MIDTHUN, KT; UGGEN, KT. "Stochastic optimization of operational production planning for fisheries. Fisheries research". 2014; 157: 147-153. ISSN 0165-7836.
 12. BENYOUCEF, L; JAIN, V; REZG, N; XIE, X. "Production planning in an assembly system with social and industrial constraints: a dynamic programming approach". International Journal of Services Operations and Informatics. 2007; 2(2): 131-151. ISSN 1741-539X.
 13. BERTRAND, JWM, FRANSOO, JC. "Operations management research methodologies using quantitative modeling". International Journal of Operations & Production Management. 2002; 22(2): 241-264. ISSN 0144-3577.
 14. MITROFF, II; BETZ, F; PONDY, LR; SAGASTI, F. "On managing science in the systems age: two schemas for the study of science as a whole systems phenomenon". Interfaces. 1974; 4(3): 46-58. ISSN 2644-0865.
 15. HILLIER FREDERICK, S; LIEBERMAN GERALD, J. "Introducción a la investigación de operaciones". 9 ed. México DF (México): Mcgraw-Hill; 2010, ISBN 978-607-150-308-499-7, 997 p.
 16. MOYA, JIF; VELÁZQUEZ, DRT; MASTRAPA, LH; LEÓN, YOL. "Integrated mathematical model based on a heuristic method for loading and routing of vehicles: application in a tobacco company". Independent Journal of Management & Production. 2020; 11(6): 2091-2111. ISSN: 2236-269X.
 17. HART, WE; LAIRD, CD; WATSON, JP; WOODRUFF, DL; HACKEBEIL, GA; NICHOLSON, BL; & SIIROLA, JD. "Pyomo-optimization modeling in python". Berlin (Germany): Springer; 2017, ISBN: 978-3-030-68928-5.

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses

Contribución de cada autor:

Jorge Israel Frómeta-Moya: Ejecutor de la investigación y redactor del artículo.

Tahimí Labrada-Díaz: Participó en la realización de la investigación, así como en la revisión y aprobación de la versión final del manuscrito.