

Análisis multicriterio para la selección de un Plan Agregado de Producción considerando el Factor Humano

Multi-criteria analysis to select an Aggregate Production Plan considering the Human Factor

Luciana Tabone, Ignacio Boloquy, Verónica Mortara, Antonio Morcela, Jacqueline Bonoure

Palabras clave: Plan Agregado de Producción, Toma de Decisiones Multicriterio, Proceso Analítico de Jerarquías, Factor Humano

Key words: Aggregate Production Plan, Multi-criteria Decision Making, Analytical Hierarchy Process, Human Factor

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo seleccionar el mejor Plan Agregado de Producción en una empresa del rubro electromecánico de Argentina mediante la aplicación del Proceso Analítico de Jerarquías. Para la selección de las alternativas propuestas se definen como criterios más relevantes al factor humano, el costo, el plan de producción, el inventario y la subcontratación. Este trabajo plantea una aplicación de un modelo multicriterio para la selección de un Plan Agregado de Producción, evaluando el factor humano junto con los criterios de decisión convencionales. Este método permite la selección de un plan considerando criterios y subcriterios de selección, de acuerdo con las prioridades estratégicas del área productiva y de la empresa. Como resultado, el factor humano es el criterio más importante y la Alternativa 1 la mejor para el modelo propuesto. Esta alternativa adopta una estrategia de nivelación de la mano de obra, tratando de abastecer la totalidad de la demanda con una fuerza de trabajo constante durante todo el periodo de planificación.

ABSTRACT

The objective of this work is to select the best Aggregate Production Plan in an electromechanical company in Argentina by applying the multi-criteria method for the decision-making Analytical Hierarchy Process. For the selection of the proposed alternatives, the most relevant criteria are defined as the human factor, cost, production plan, inventory and subcontracting. This work provides an application of a multicriteria model for the selection of an Aggregate Production Plan, evaluating the human factor together with the conventional decision criteria. This method allows the selection of a feasible plan in a simple way, considering selection criteria and sub-criteria, according to the strategic priorities of the production area and the company. In this case, the human factor turns out to be the most important criterion when selecting the Aggregate Plan and Alternative 1 the best for the proposed model. This alternative adopts a strategy of leveling the workforce, trying to supply the entire demand with a constant workforce throughout the planning period.

INTRODUCCIÓN

La planificación de la producción es un proceso clave en los sistemas de producción, que busca planear y coordinar efectiva y eficientemente las operaciones de manera tal que se cumplan los objetivos de las empresas (Tirkolae, Goli & Weber, 2019). En consecuencia, la correcta planificación de las operaciones, asociadas a la producción u obtención de bienes, constituye uno de los grandes retos de las empresas manufactureras. Sin una planificación integrada no es posible gestionar de manera adecuada el sistema de producción (Motoa, Osorio & Orejuela, 2013; Caicedo-Rolón, Criado-Alvarado & Morales-Ramón, 2019). Para lograr esta integración, es necesario desarrollar los procesos de planificación y control de la producción bajo un enfoque jerárquico (Domínguez, García, Domínguez, Ruiz & Álvarez, 1995; Arango, Vergara & Gaviria, 2010; Jamalnia, Yang, Feili, Xu & Jamali, 2019). Este enfoque, permite coordinar los objetivos, planes y actividades de los niveles estratégico, táctico y operativo (Rasmi, Kazan & Türkay, 2019). Significa que los planes de cada nivel persiguen sus propias metas, pero teniendo en cuenta los objetivos de nivel superior de las cuales dependen y los del nivel inferior en los que actúan como factor restrictivo (Sánchez & Garrido, 2013).

El Plan Agregado, es un plan de producción a mediano plazo que busca traducir de forma más detallada el Plan Estratégico de la empresa. Su principal objetivo es satisfacer la demanda fluctuante

durante el horizonte de planificación y lograr la satisfacción del cliente (Gansterer, 2015; Ahmed, Biswas & Nundy, 2019). De una forma más específica es una fuente importante para la planificación de los niveles de inventario, el flujo de efectivo, las necesidades de recursos humanos, necesidades de capital, niveles de producción, capacidad y subcontratación para el horizonte de tiempo considerado (Kumar & Haq, 2005; Reyes & Molina, 2014; Mehdizadeh, Niaki & Hemati, 2018).

La dinámica y complejidad del entorno actual hace que una eficaz Planificación Agregada sea considerada clave para el éxito de una empresa productiva (Ahmed et al., 2019). Es por ello, que la toma de decisiones respecto al mejor plan de producción ha tomado relevancia para su competitividad y supervivencia futura. La complejidad radica en la cantidad de variables y restricciones a considerar (Cheraghalikhani, Khoshalhan & Mokhtari, 2019; Caicedo-Rolón et al., 2019). Los objetivos tradicionales que persigue la Planificación Agregada están orientados a los costos, ignorando el impacto que estos generan en los recursos humanos, desde una perspectiva social, y la necesidad de incluir este factor al momento de seleccionar el mejor plan. De esta manera, es que el factor humano juega un rol determinante y debe ser considerado en el proceso decisorio (Tirkolae et al., 2019; Rasmi et al, 2019)

Este contexto pone de manifiesto la necesidad de selección de herramientas de

apoyo que faciliten la toma de una decisión adecuada y permitan considerar los múltiples criterios, cualitativos y cuantitativos, involucrados en la selección del mejor Plan Agregado de Producción (PAP) (Arango et al., 2010; Schenker, Steingrímsson, Borndörfer & Seliger, 2015; Mehdizadeh et al., 2018; Rasmi et al., 2019). En escenarios de múltiples dimensiones de evaluación suele utilizarse el Proceso analítico de Jerarquías (AHP, por sus siglas en inglés) ya que permite la resolución de problemas complejos, donde la mejor decisión u opción depende de múltiples criterios y de diferentes puntos de vista de las decisiones ante diversas alternativas de solución (Mortara, Tabone & Zanfrillo, 2019).

El objetivo de este trabajo consiste en seleccionar el mejor PAP para una empresa del rubro electromecánico de Argentina, considerando el factor humano en el proceso de decisión. Se propone un enfoque multicriterio mediante la aplicación del AHP, que pretende responder a la siguiente pregunta: *¿qué importancia tiene el factor humano a la hora de seleccionar el plan agregado de producción en una empresa electromecánica?*

La estructura de este trabajo es la siguiente: se presenta una revisión de la literatura sobre el PAP y AHP. En la siguiente sección, se define la metodología propuesta, con los pasos a seguir para la toma de decisiones multicriterio mediante el AHP; y luego, se exponen los resultados de su aplicación en una empresa electromecánica. Finalmente, se presentan las conclusiones de la investigación.

Revisión de la literatura

Plan Agregado de Producción

El Plan Agregado de Producción es una herramienta para la toma de decisiones empresariales que determina la mejor forma de satisfacer los pronósticos de demanda mediante el ajuste de los niveles de producción, mano de obra, subcontratación e inventario, entre otras variables controlables, y teniendo en cuenta las restricciones de capacidad (Orozco, Sablón, Diéguez & Lomas, 2018; Kumar, Purohit, Manjrekar, Singh & Lad, 2018, Islam & Hossain, 2016; Ahmed et al., 2019).

Los administradores de operaciones tratan de establecer la cantidad y los tiempos de producción necesarios para satisfacer la demanda a mediano plazo (Caicedo-Rolón et al., 2019). Como su nombre lo indica, los productos se acumulan o agregan en familias y la clave para efectuar la agrupación es el uso de recursos similares, por ejemplo, el personal, los equipos o las materias primas (Krajewski, Manoj & Ritzman, 2013; Davizón, Martínez-Olvera, Soto, Hinojosa & Espino-Román, 2015). Dicha técnica permite calcular el plan de producción más adecuado o más conveniente, para un futuro determinado, y con la ayuda del pronóstico de la demanda (Reyes & Molina, 2014). Con respecto a la capacidad, para esta etapa de planificación se considera fija, es decir, que no se pueden tomar acciones estructurales de ajuste, solamente se aplican medidas transitorias de ajuste de capacidad (Domínguez et al., 1995; Oeinarto, 2014). Estas alternativas se engloban en dos

categorías, una de ellas se enfoca en el lado de la oferta para intentar cambiar el suministro de producción y se la denomina estrategia interna. Incluye las contrataciones y despidos del personal, la contratación de trabajadores temporales, el uso tiempo extra o tiempo inactivo, las subcontrataciones, la fabricación para inventario, entrega con retraso, la posibilidad de no atender la demanda y la modificación de la tasa de producción. La otra categoría se concentra en la demanda, en un intento por alterar sus patrones para ajustarlos al resultado de la producción. Esta es llamada estrategia externa y considera la fijación de precios, la realización de promociones y publicidad y la oferta de paquetes de productos (Arango et al., 2010).

Para encontrar la mejor alternativa que organice los recursos y cumpla con la demanda, bajo ciertas condiciones de operación, se debe delinear una estrategia para la elaboración del PAP. Cuando se habla de mejor, la mayoría de los autores, se refieren a la maximización de las utilidades de la organización o minimización de costos, niveles de inventario, nivel de subcontratación, utilización de fuerza de trabajo y maquinaria (Madadi & Wong, 2013; Madanhire & Mbohwa, 2015; López, Solis, Gutiérrez & Morales, 2016; Demirel, Özelkan & Lim, 2018), pero resulta indispensable que se establezcan otras condiciones u objetivos.

Un factor relevante a considerar es el impacto adverso que puede generar en las personas la volatilidad de la fuerza de

trabajo por despidos y contrataciones frecuentes, el uso de horas extras, entre otras cuestiones. Se deben considerar no solo los efectos que produce el despido en los trabajadores que egresan de la organización sino también el impacto que generan en los que permanecen en ésta (López, 2009). La pérdida de empleo genera un impacto a nivel económico, psicológico, social y familiar (Garrido, 2006). Respecto a las personas que se mantienen en la empresa, presentan una serie de consecuencias en términos de compromiso, confianza, iniciativa y espontaneidad (Cross & Travaglione, 2004). La percepción de que en el futuro existirán más cambios negativos, acrecienta la incertidumbre, aumenta el estrés y disminuye la satisfacción (Clair & Dufeene, 2004). Respecto a la productividad, esta tiende a disminuir debido a que los individuos perciben un menor control en el empleo y desarrollan comportamientos laborales disfuncionales (Jordan, Ashkanasy & Hartel, 2002).

Si bien existen estudios donde se analiza el impacto en la fuerza de trabajo, el análisis se limita al establecimiento de objetivos de reducción en los costos de contratación y despido y al establecimiento de restricciones en estas variables (Smith, Correa & Aristizábal, 2004; Oeinarto, 2014; Saraçoğlu, Arslan & Turkay, 2015; Rasmi et al., 2019).

Es importante comprender todos estos factores para definir una estrategia adecuada que, en general, dependerá de las políticas de la empresa, sus prioridades competitivas, el tipo de sistema productivo,

entre otros. Las tres estrategias que se emplean para realizar el PAP son la nivelación, la caza o seguimiento y una combinación de ambas.

La estrategia de nivel busca nivelar determinado recurso (la producción o la mano de obra), es decir, que sus valores se mantendrán constantes en todos los periodos del horizonte de planificación. Esto implica que la demanda fluctúa alrededor de la disponibilidad de dicho recurso, y en su defecto, se harán esfuerzos por alterar los patrones de demanda para que se ajusten de manera efectiva a los recursos establecidos (Davizón et al., 2015). Una estrategia de nivel permite a una empresa mantener constante su producción y satisfacer la demanda, situación deseable desde el punto de vista de las relaciones con los empleados (Madanhire & Mbohwa, 2015).

La estrategia de caza altera los recursos periodo a periodo durante el horizonte de planificación. Esto significa que se aumentan y disminuyen sus valores de manera tal de ajustarse a la demanda establecida. Suele aplicarse en entornos donde es difícil alterar la demanda y hay disponibilidad para modificar la base de recursos. Esta estrategia tiene un impacto positivo en una amplia categoría de costos y, por lo tanto, mejora las ganancias de la empresa, reduce sus riesgos financieros y permite la contratación de una amplia gama de habilidades necesarias de forma temporal. Sin embargo, resulta inadecuada cuando la mano de obra necesita una formación intensiva y continua y las frecuentes contrataciones y despidos

conllevan a pérdidas de productividad y disminución de la motivación de los trabajadores (Jamalnia, 2017).

Las estrategias mixtas son las más comunes de aplicar. Aquí se mezclan y ajustan las dos estrategias anteriores, nivelando los recursos en algunos periodos y en otros ajustándolos a la demanda. En algunos casos, una estrategia combinada permite alcanzar de una mejor forma los objetivos y políticas de la organización y lograr costos más bajos que cualquiera de las estrategias utilizadas de forma independiente (Antonio, Bonilla & Espitia, 2015).

Proceso Analítico de Jerarquías

Frente a varias alternativas de decisión con características que las hacen únicas, la toma de decisiones no puede basarse en un solo atributo. Existen diversas técnicas que consideran evaluar simultáneamente varios atributos, estos pueden ser cualitativos y cuantitativos, de un conjunto de alternativas y por otro lado, permiten que la evaluación sea realizada mediante un grupo de decisión y no por una sola persona, lo que implica que esta sea más acertada (Salas Bacalla et. al., 2014; Gil Torrijos, 2018). Uno de los métodos que suele utilizarse como apoyo a la toma de decisiones en contextos de múltiples dimensiones de valoración es el AHP. Este permite la resolución de problemas complejos, donde la mejor decisión u opción es derivada de criterios múltiples y de disímiles miradas de los decisores ante las distintas alternativas de solución. Es un método sencillo, lógico y estructurado que ayuda a la toma de decisiones de trabajo,

basado en la descomposición del problema en una estructura jerárquica multinivel de objetivos o metas, criterios, subcriterios y alternativas (Martínez Rodríguez, 2007; Xu & Liao, 2014; Tapiero et al., 2017).

El AHP tiene tres principios rectores: construcción de las jerarquías; establecimiento de prioridades y una consistencia lógica. Este método tiene una gran aceptación en grandes proyectos de valoración y quizás sea el método de valoración cualitativa más utilizado (Munier 2011).

El proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones objetivas y/o subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios considerados y que especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas referida a cada criterio. Se deben identificar los criterios más generales hasta los más particulares. En esa

línea Cordero (2019) expresa que aparte de los criterios económicos y generales a considerar, se ha de priorizar los criterios sostenibles que protejan a la sociedad de los impactos negativos generados en un espacio determinado.

El resultado del AHP muestra la prioridad total de las alternativas de decisión respecto a la meta (Toskano Hurtado, 2005). Es una técnica que, desde su invención, ha sido sumamente utilizada por los responsables de la toma de decisiones y los investigadores por su extenso campo de aplicación como lo son la planificación, la selección de la mejor alternativa, la asignación de recursos, la resolución de conflictos, la optimización, la selección de una considerable lista de proyectos de tecnologías de la información, entre otros (Rivera Chávez, 2008; Huamaní Huamaní & Eyzaguirre, 2015; Vaidyaa & Kumarb, 2006).

METODOLOGÍA

La metodología adoptada para este trabajo es un estudio de caso. El tipo de investigación es cualitativa y cuantitativa, inicialmente se analizan datos y luego mediante la aplicación de la herramienta propuesta se realizan cálculos matemáticos para selección.

La empresa en estudio pertenece al rubro electromecánico y fabrica tres tipos de familias de productos distintos. Cada producto, para ser fabricado según especificaciones de ingeniería de fabricación, debe pasar obligatoriamente por cuatro procesos agregados, donde en

cada uno hay un tipo específico de operario con sus herramientas y máquinas necesarias, en el siguiente orden: mecanizados de materiales que conformaran el producto; limpieza y pulidos; ensambles entre piezas y materiales, y ajustes; y pruebas y ensayos finales. En cada uno de esos procesos son necesarios insumos y materiales, los cuales cada uno de ellos se agrupan en familias. Para cada familia de producto existe un pronóstico de demanda determinística definida por los pedidos de compras y encargos anticipados, y que hay que

cumplir sin postergar entregas en cada mes (Tabone et al., 2020).

Las etapas a seguir para el desarrollo del trabajo son los siguientes:

I.- Se realizan entrevistas programadas con los actores involucrados del sistema productivo de la organización en la que participan y se determina de manera conjunta las características y necesidades del sistema.

II.- Se establecen de forma consensuada, las alternativas a considerar para la selección del PAP y se analizan los indicadores de cada una.

III.- Se selecciona el mejor PAP mediante la aplicación del AHP, utilizando como

entrada la información generada en las etapas anteriores. Se siguen los pasos propuestos por Saaty (2008) para el desarrollo del AHP, según se describe a continuación:

1. *Definir el problema:* estableciendo sus componentes o elementos relevantes.

2. *Estructurar la jerarquía del problema:* para ello, se elabora una representación gráfica del problema en función de la meta global, los criterios a ser usados y las alternativas de decisión. Si se requiere, pueden desprenderse subcriterios. Estos últimos deben guardar una relación jerárquica con el criterio del que se desprenden (Figura 1).

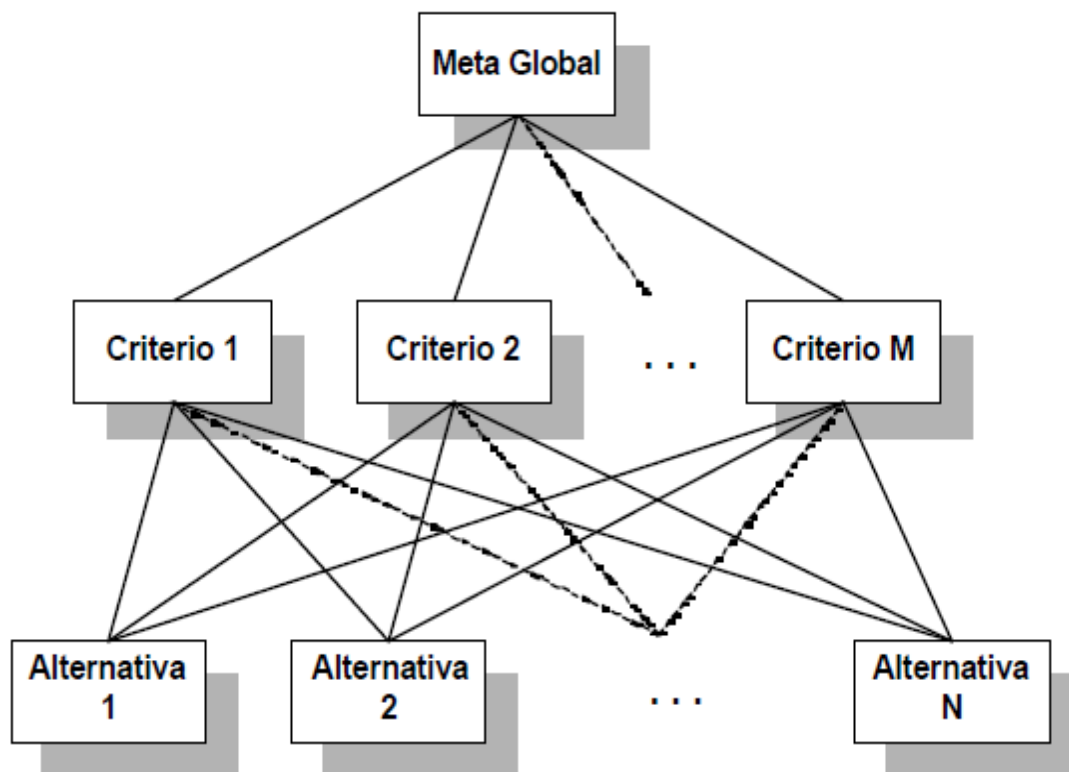


Figura 1. Estructura Jerárquica. Fuente: Toskano Hurtado (2005).

3. *Establecer las preferencias:* se requiere que quien toma las decisiones, emita un juicio de valor con respecto a todos los elementos de un nivel, referido a cada uno de los elementos del nivel inmediato superior. Se utilizan matrices de comparaciones pareadas (Figura 2) para

establecer dichas preferencias. Estas prioridades numéricas a partir de criterios subjetivos se organizan en matrices de comparación pareada (Aguezzoul & Ladet, 2007). Las comparaciones pareadas son las bases fundamentales del AHP.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Figura 2. Matriz de comparaciones binarias de n alternativas. Fuente: Toskano Hurtado (2005)

Se emplea la escala de Saaty con valores de 1 a 9, como se muestra en Tabla 1, para calificar las preferencias relativas de los elementos. Esta permite la disminución del

grado de subjetividad, en la evaluación de los factores cualitativos (Salas, Leyva & Calenzani, 2014).

Tabla 1. Escala de calificación de Saaty

Puntaje	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente al objetivo
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio ligeramente a favor de uno de los elementos
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio fuertemente a favor de uno de los elementos
7	Importancia muy fuerte o demostrable	Un elemento es preferido sobre el otro en un grado muy fuerte y esta preferencia puede demostrarse en la práctica
9	Importancia extrema	La evidencia favorece a una alternativa sobre la otra extremadamente
2,4,6,8	Para valores intermedios entre las definiciones	Algunas veces se necesita interpolar un juicio, porque no hay una palabra que describa la relación entre los elementos

Fuente: elaborado por los autores con base en Saaty (2008).

4. *Priorizar y sintetizar*: en un problema jerarquizado, las prioridades pueden ser locales, globales o totales. Una consideración importante en términos de la calidad de decisión final se refiere a la consistencia de juicios que muestra el tomador de decisiones en el transcurso de la serie de comparaciones pareadas. La consistencia perfecta es difícil de lograr ya que los juicios son realizados por personas. Esta metodología calcula la relación o razón de consistencia de Saaty, considerando aceptable los valores menores a 0,1. Por último, se realiza la síntesis del problema para obtener la prioridad total de las alternativas mediante la agregación multiaditiva de las prioridades globales. Esto permite ordenar el conjunto de las alternativas consideradas y seleccionar la mejor alternativa para

obtener la meta buscada (Carignano & Alberto, 2019).

5. *Análisis de sensibilidad*: Para examinar la robustez de la solución, se realiza un análisis de sensibilidad que consiste en un proceso sistemático que muestra cómo una solución responde a los cambios introducidos en las condiciones de partida. Permite visualizar los cambios en la jerarquización de las alternativas ante las variaciones de las preferencias en los niveles superiores (Mortara, Esteban, Tabone & Zárate, 2016)

Para el desarrollo del AHP se utiliza el software Expert Choice®. Cabe destacar que no es necesario incurrir en la adquisición de ningún software específico, ya que para esta técnica se enfatiza la funcionalidad de las planillas de cálculo electrónicas disponibles en la web (Goepel, 2013).

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Alternativas del Plan Agregado de Producción

Con el objetivo de seleccionar el mejor PAP se consideran cuatro planes alternativos, siguiendo diversas estrategias y medidas de ajuste de la capacidad. A continuación, se describen los lineamientos adoptados en cada una.

- *Alternativa 1*. Esta alternativa propone la implementación de una estrategia de nivel de mano de obra, tratando de abastecer la totalidad de la demanda durante cada período de planificación. Las alternativas de capacidad aplicadas para alcanzar los

objetivos planteados son el uso de horas extras, la generación de inventario, la subcontratación y la contratación y despido de la fuerza de trabajo. La mano de obra es de uso compartido entre las tres familias de producto y se establece un nivel de fuerza de trabajo constante por tipo de operario durante todo el periodo de planificación. De esta manera, existen meses con tiempos ociosos de trabajo que se utilizan para fabricar inventario y evitar los quiebres de stock y la reducción de necesidad de subcontratación.

- **Alternativa 2.** Este plan se realiza siguiendo una estrategia mixta de nivelación de las cantidades a producir en cada periodo del horizonte de planificación con una de nivel de mano de obra. Se emplean como medidas de ajuste transitorio de capacidad la fabricación para inventario, uso de horas extras, subcontratación de parte de la producción y la contratación y despido de personal. Se considera que la mano de obra es compartida entre las tres familias, para cada etapa del proceso productivo. Las horas de trabajo ociosas se las utiliza para producir inventario para evitar el desabastecimiento de la demanda y la reducción de la cantidad de productos a subcontratar. La nivelación de la mano de obra se realiza en dos tramos. Durante el primer semestre, se instituye un nivel mayor de mano de obra para generar inventario mediante la utilización del tiempo ocioso y durante el segundo semestre se plantea un nivel de mano de obra menor.

- **Alternativa 3.** El plan se realiza adoptando una estrategia de caza donde se produce la cantidad de unidades requeridas para abastecer la demanda. Esta estrategia no genera inventarios y la mano de obra es de uso compartido entre las tres familias de producto. Las alternativas de ajuste de capacidad aplicadas son la contratación y despido de la fuerza de trabajo, el uso de horas extras y subcontratación.

- **Alternativa 4.** El plan que propone se obtiene mediante una

estrategia mixta que combina una de caza con una de nivel de mano de obra. Durante un periodo del horizonte de planificación se nivela la mano de obra, mientras que se ha hecho uso de una estrategia de caza al momento de absorber las necesidades de los periodos de demanda alta. La mano de obra es de uso compartido entre las tres familias de producto. Las alternativas de ajuste de capacidad aplicadas son la contratación y despido de la mano de obra, generación de inventario, uso de horas extras y subcontratación. Se busca minimizar la cantidad de horas ociosas mediante la producción para inventario con el fin de evitar el desabastecimiento de la demanda y la reducción de la cantidad de productos a subcontratar.

El motivo de tratar de minimizar la subcontratación se debe a que el costo variable unitario de las tres familias reporta un valor superior en relación a la fabricación en horas regulares (28%) y horas extras (31%). Los cuatro planes alcanzan un nivel de servicio del 100% ya que no se producen quiebres de stock en ningún periodo y de esta manera se logra abastecer la totalidad de la demanda de las tres familias (7470 unidades).

En Tabla 2 se presentan los indicadores de desempeño más significativos para el análisis de cada plan. Se puede observar que la alternativa 2 es la que reporta el menor costo. El coeficiente de variación de la mano de obra y del plan de producción se considera con el objetivo de comparar la estabilidad que

proporciona cada plan. La alternativa 1 presenta la menor variabilidad de la mano de obra y la alternativa 3 la menor variabilidad del nivel de producción. Asimismo, se presenta el porcentaje de inventario y subcontratación de cada plan respecto a la producción total para los diferentes planes presentados. La menor generación de inventario se

obtiene en la alternativa 3 y la menor subcontratación se realiza en la alternativa 1. La alternativa 3 es la que posee menor uso de horas extras y la menor cantidad de horas ociosas. Respecto a la producción total, la alternativa 1 es la que genera una mayor cantidad de productos.

Tabla 2. *Indicadores de desempeño por alternativa*

Alternativa	1	2	3	4
Costo Total	\$ 32.668.263	\$ 31.481.201	\$ 32.411.199	\$ 31.975.864
CV Mano de Obra	0%	3,80%	4,99%	3,81%
Horas Extras	4.179	4.613	3.992	5.943
CV Producción	6,77%	5,78%	3,34%	8,87%
% Inventario	33,75%	15,84%	0,00%	13,15%
Horas Ociosas	157	162	140	412
Producción Total	7.888	7.495	7.560	7560
% Subcontratación	0,47%	0,52%	1,88%	1,75%

Selección del mejor Plan Agregado de Producción

El AHP se desarrolla de forma conjunta con los actores involucrados en el sistema productivo. La estructura jerárquica del problema se plantea en la Figura 3. Se determina como meta global "Seleccionar el mejor PAP" y se determinan como criterios más relevantes para tomar esta decisión el factor humano, el costo, el plan de producción, el inventario y la subcontratación. Se definen para los criterios fuerza de trabajo y plan de producción una serie de subcriterios de selección. Para la evaluación de los criterios y subcriterios (cuantitativa y

cuantitativamente) se consideran los indicadores de desempeño y la información presentada en el apartado anterior.

Mediante reuniones de trabajo con los actores del proceso se determinan de forma consensuada las preferencias respecto a la prioridad de los criterios, subcriterios y las alternativas de decisión en relación a cada criterio y subcriterio de selección. Estas valoraciones se ingresan al software Expert Choice® y se obtienen las prioridades locales y globales y la consistencia de los juicios. Los pesos de los criterios y subcriterios se presentan en Tabla 3.

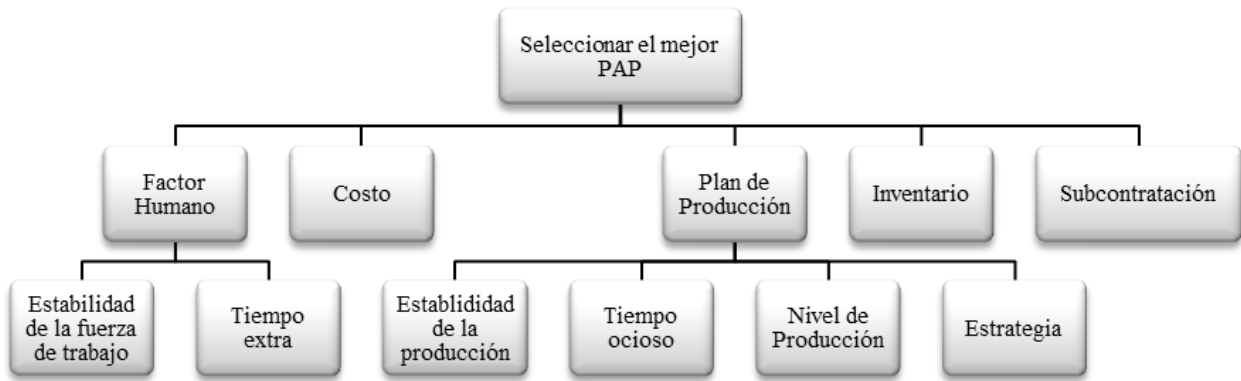


Figura 3. Estructura Jerárquica.

Tabla 3. Pesos de los criterios y subcriterios

Criterios	Peso	Subcriterio	Peso	Peso Final
Factor Humano	0,415	Estabilidad de la fuerza de trabajo	0,875	0,363
		Tiempo extra	0,125	0,052
Costo	0,286	-	-	0,286
		Estabilidad de la producción	0,579	0,047
Plan de producción	0,081	Tiempo ocioso	0,224	0,018
		Producción Total	0,092	0,007
		Estrategia	0,106	0,009
Inventario	0,052	-	-	0,052
Subcontratación	0,166	-	-	0,166

En Figura 4 se presenta la priorización final de las alternativas, con el índice de inconsistencia, indicativo de la coherencia de los juicios efectuados.

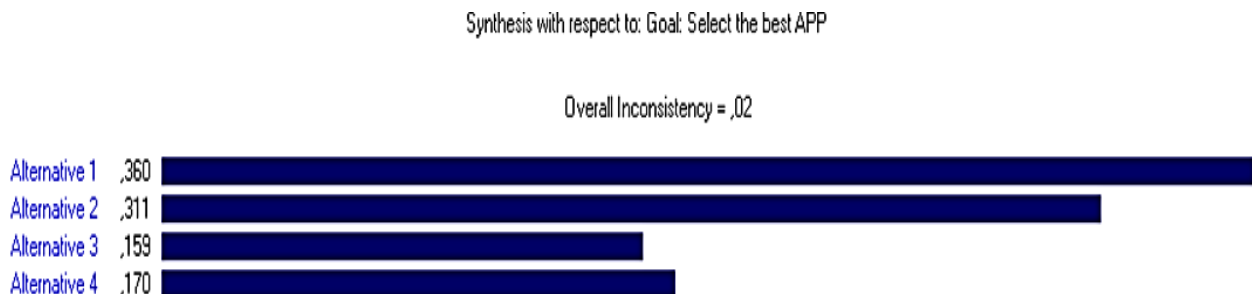


Figura 4. Priorización de las alternativas.

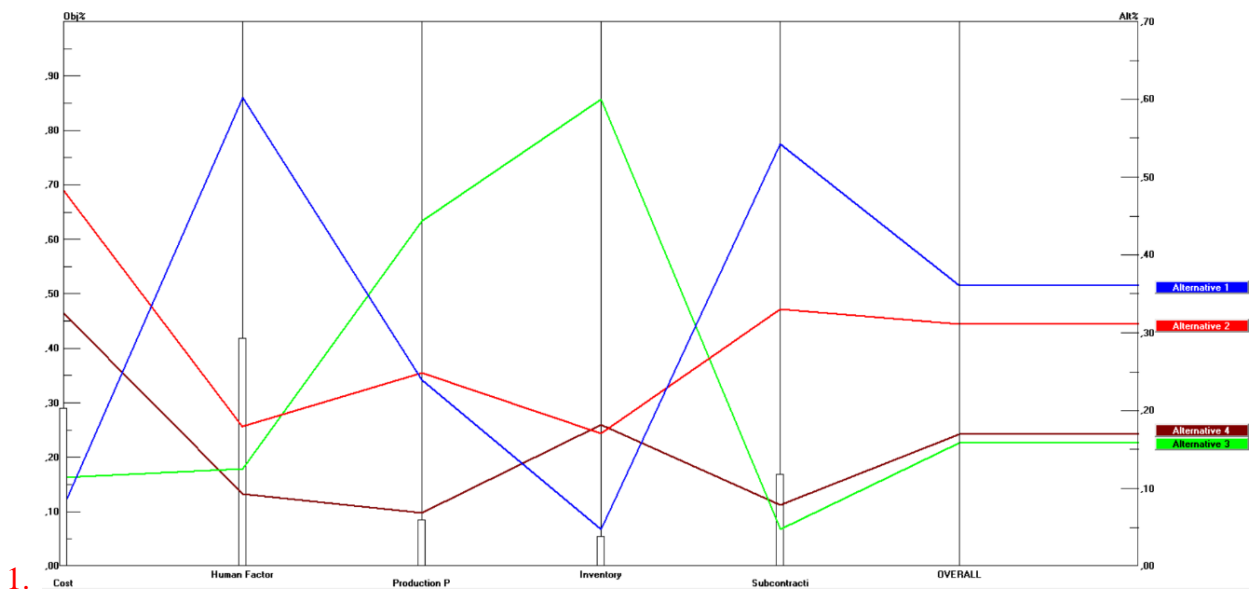
Se evidencia que el criterio más importante es la fuerza de trabajo (41,5%), seguido por los costos (28,6%), el nivel de subcontratación (16,6%), el plan de producción (8,1%) y el nivel de inventario (5,2%). Respecto a los subcriterios, la estabilidad de la mano de obra es el que mayor importancia reporta con un peso final de 36,3%.

Como resultado, se obtiene que la Alternativa 1 es la mejor con una prioridad total del 36%, seguida por la Alternativa 2 con un 31,1%, la Alternativa 4 con 17% y finalmente la Alternativa 3 con un 15,9% de prioridad. Se corrobora que todas las matrices de comparación pareada son consistentes,

obteniendo un valor de consistencia global de 0,02. De esta manera, se verifica la calidad de la decisión final ya que los juicios del tomador de decisiones son consistentes en todo el proceso de análisis jerárquico.

Análisis de sensibilidad

Para analizar la robustez de la solución obtenida se efectúa un análisis de sensibilidad mediante la variación de las prioridades de los criterios respecto a la meta global. En Figura 5 se puede evidenciar de forma global los cambios de preferencia entre las alternativas 1, 2 y 3 en función de la variación de los pesos de los criterios de selección.



1.

Figura 5. Análisis de sensibilidad global.

Para un análisis más detallado, se identifican los puntos de indiferencia en entre las alternativas. A modo de ejemplo, en Figura 6 y 7 se presenta el análisis de sensibilidad de los criterios

Factor Humano y Costo, donde las líneas verticales rojas representan el peso original de los criterios y las líneas verticales punteadas azules indican el punto de indiferencia entre las

alternativas 1 y 2. Para el Factor Humano dicho punto se encuentra en 33,5% y para Costos en 36%. Analizando los criterios Plan de Producción e Inventario, el punto de indiferencia entre

la alternativa 1 y 3 se obtiene en 54% y 31%, respectivamente. En el análisis del criterio Subcontratación, la alternativa 1 resulta mejor cualquiera sea su valor.

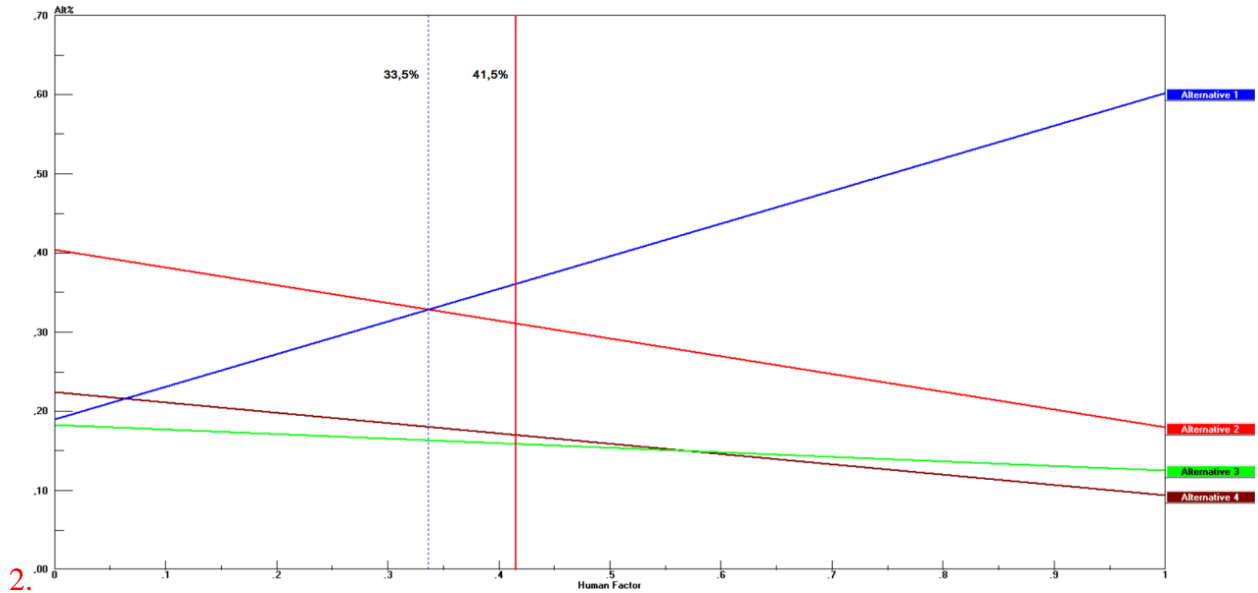


Figura 6. Análisis de Sensibilidad para el criterio Factor Humano.

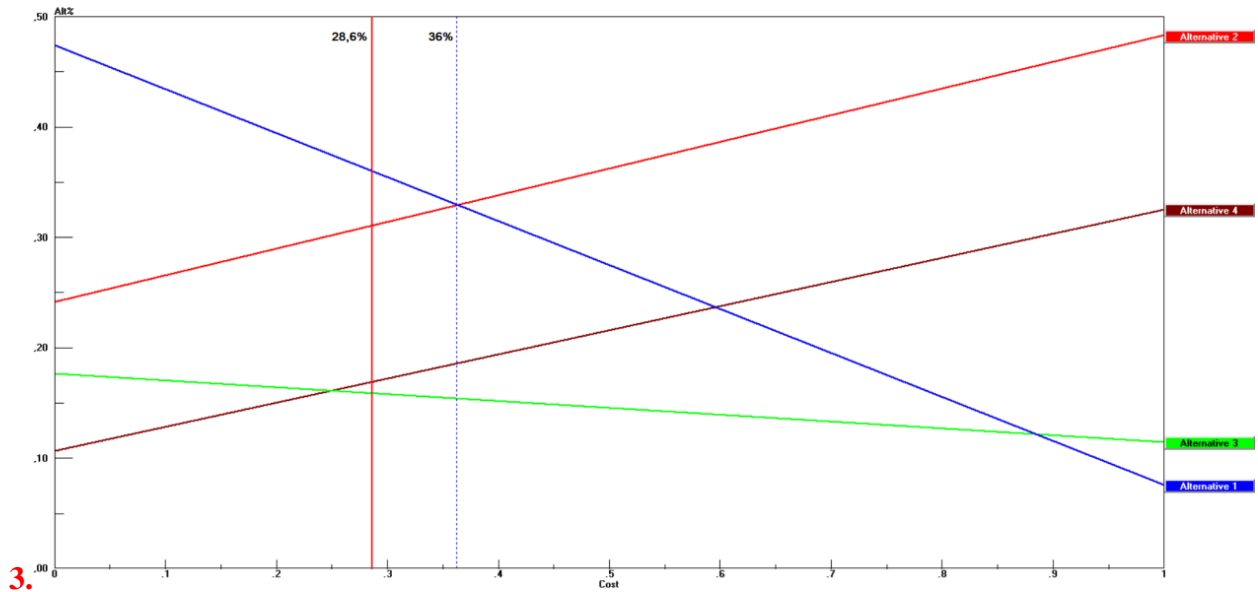


Figura 7. Análisis de sensibilidad para el criterio Costo.

CONCLUSIONES

La implementación del AHP permite la estructuración del problema de selección de un PAP factible en forma sencilla, teniendo en cuenta criterios y subcriterios de selección acordes con las prioridades estratégicas del área productiva y de la empresa en estudio.

Se consideran cuatro planes como alternativas viables de implementar. Todos logran abastecer la demanda prevista al presentar un nivel de servicio del 100% para las tres familias de producto. Se utilizan como opciones de ajuste de capacidad, el uso de horas extras, la generación de inventario, la subcontratación y la contratación y despido de la fuerza de trabajo.

En la empresa estudiada el criterio considerado más relevante para el proceso de selección es el factor humano, dando respuesta a la pregunta de investigación planteada.

Respetando los criterios y restricciones establecidos se obtiene una jerarquización de los cuatro planes considerados y se selecciona uno de ellos, alternativa 1, como el mejor PAP. El plan correspondiente a esta alternativa aplica una estrategia de nivelación de mano de obra, reportando una ventaja significativa a la empresa, ya que proporciona una estabilidad total a la fuerza de trabajo al definir un plantel constante durante el horizonte de planificación. La selección final resulta coherente con las preferencias obtenidas, al

ser la estabilidad de la mano de obra el subcriterio más relevante. La alternativa seleccionada evita el impacto negativo en la motivación y moral y en consecuencia en la productividad. También permite reducir los problemas derivados de las restricciones o presiones que puedan proceder del entorno empresarial como pueden ser las regulaciones contractuales o actividad de los sindicatos que no deben minimizarse a la hora de diseñar el plan.

El análisis de sensibilidad muestra que el modelo propuesto es sensible a todos los criterios considerados para la selección, a excepción de la Subcontratación. Así, un cambio en la priorización de los mismos provocará un cambio en la jerarquización final de las alternativas.

La utilización del Expert Choice® resulta ser sumamente sencilla y de fácil comprensión para la resolución del AHP y su posterior análisis de sensibilidad.

Se concluye que la metodología multicriterio propuesta, en particular AHP, es de factible y eficaz implementación. Factible, en tanto utiliza datos de entrada que son derivados de la actividad habitual del proceso de gestión de la producción; y eficaz porque permite obtener el mejor PAP que logra combinar los recursos de manera tal de satisfacer la demanda prevista en función de las características y necesidades de la empresa e incorporar al factor humano como criterio prioritario para la selección.

REFERENCIAS

- Aguezzoul, A. & Ladet, P. (2007). A nonlinear multiobjective PApproach for the supplier selection, integrating transportation policies. *Journal of Modelling in Management*, 2 (2), 157-169. <https://doi.org/10.1108/17465660710763434>
- Ahmed, T., Biswas, T. & Nundy, C. (2019). An Optimization Model for Aggregate Production Planning and Control: A Genetic Algorithm PApproach. *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 8 (3), 203-224. <https://doi.org/10.22105/riiej.2019.192936.1090>
- Antonio, K., Bonilla, L. & Espitia, A. (2020). Planeación y control de la producción aplicada a una empresa de productos líquidos de aseo. *Semilleros*, 5 (9), 91-106. <https://revistas.fio.unam.edu.ar/index.php/semillero/article/view/190>
- Arango, M., Vergara, C. & Gaviria, H. (2010). Modelización difusa para la planificación agregada de la producción en ambientes de incertidumbre. *DYNA*, 77(162), 397-409. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/15910>
- Caicedo-Rolón, A. J., Criado-Alvarado, A. M., & Morales-Ramón K. J. (2019). Modelo matemático para la planeación de la producción en una industria metalmeccánica. *Scientia et Technica*, 24(3), 408-419. <https://doi.org/10.22517/23447214.16031>
- Carignano C. & Alberto C. (2019). *Apoyo cuantitativo a las decisiones*, 5ta edición. Córdoba: Asociación Cooperadora Facultad de Ciencias Económicas de la UNC. <http://hdl.handle.net/11086/15622>
- Cheraghalikhani, A., Khoshalhan, F. & Mokhtari, H. (2019). Aggregate production planning: A literature review and future research directions. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 10 (2), 309-330. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2018.6.002>
- Clair, J. A., & Dufresne, R. L. (2004). Playing the grim reaper: How employees experience carrying out a downsizing. *Human Relations*, 57(12), 1597-1625. <https://doi.org/10.1177/0018726704049991>
- Cordero, B. (2019). Selección de proveedores priorizando criterios sostenibles para productos: un enfoque de AHP en compras públicas peruanas. *Revista Industrial Data*, 22(1), 153-172. <http://dx.doi.org/10.15381/idata.v22i1.16532>
- Cross, B., & Travaglione, A. (2004). The times they are a-changing: Who will stay and who will go in a downsizing organization? *Personnel Review*, 33(3), 275-290. <https://doi.org/10.1108/00483480410528823>
- Davízon, Y., Martínez-Olvera, C., Soto, R., Hinojosa, C. & Espino-Román, P. (2015). Optimal Control PApproaches to the Aggregate Production Planning Problem. *Sustainability*, 7(12), 16324-16339. <https://doi.org/10.3390/su71215819>
- Demirel, E., Özelkan, E. C., & Lim C. (2018). Aggregate planning with Flexibility Requirements Profile. *International Journal of Production Economics*, 202, 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.05.001>
- Domínguez, J., García, S., Domínguez, M., Ruiz, A. & Álvarez, M. (1995). *Dirección de Operaciones: Aspectos tácticos y operativos de la producción y de los servicios*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Gansterer, M. (2015). Aggregate planning and forecasting in make-to-order production systems. *International journal of production economics*, 170, 521-528. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.06.001>

- Garrido, E. A. (2006). Psicología y Desempleo. *Revista Internacional de Psicología*, 7(02), 1–19. <https://doi.org/10.33670/18181023.v7i02.40>
- Gil Torrijos, M (2018). La selección de proveedores, elemento clave en la gestión de aprovisionamientos. Tesis de Maestría, Universidad de Oviedo. <http://hdl.handle.net/10651/47803>
- Goepel, K. (2013). Implementing the Analytic Hierarchy Process as a Standard Method for Multi-Criteria Decision Making In Corporate Enterprises—A New AHP Excel Template with Multiple Inputs. *Proceedings of International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, Kuala Lumpur, Malaysia. <https://doi.org/10.13033/isahp.y2013.047>
- Huamaní Huamaní, G. T., & Eyzaguirre Tejada, R. (2015). Modelo de aplicación de ahp para seleccionar editor de contenidos de objetos de aprendizaje (modelo PAJOA – ECOA). *Industrial Data*, 18(2), 121-125. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=816/81643819015>
- Islam, M., & Hossain, M. (2016). Multi Product Multi Period Aggregate Production Planning in an Uncertain Environment. *Global Science and Technology Journal*, 4 (1), 1–19.
- Jamalnia, A. (2017). *Evaluating the performance of aggregate production planning strategies under uncertainty*. PhD. The University of Manchester.
- Jamalnia, A., Yang, J., Feili, A., Xu, D., & Jamali, G. (2019). Aggregate production planning under uncertainty: a comprehensive literature survey and future research directions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102, 159–181. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-3151-y>
- Jordan, P., Ashkanasy, N. & Hartel E. (2002). Emotional Intelligence as a Moderator of Emotional and Behavioral Reactions to Job Insecurity. *The Academy of Management Review*, 27(3), 361-372. <https://doi.org/10.2307/4134384>
- Krajewski, L., Manoj, K. & Ritzman, L. (2013). *Administración de Operaciones. Estrategia y Análisis*, 5ta edición. México: Prentice Hall.
- Kumar, G. & Haq, A. (2005). Hybrid genetic—ant colony algorithms for solving aggregate production plan. *Journal of advanced manufacturing systems*, 4(01), 103-111. <https://doi.org/10.1142/S021968670500059X>
- Kumar, S., Purohit, B., Manjrekar, V., Singh, V., & Lad, B. (2018). Investigating the value of integrated operations planning: A case-based PApproach from automotive industry. *International Journal of Production Research*, 56, 1-22. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1424367>
- López, G., Solis, J., Gutiérrez, J. & Morales, E. (2016). Plan Agregado de Producción y la Productividad en una Planta de Producción de Conservas de Pescado. *Infinitum*, 6(1), 24-30. <https://doi.org/10.51431/infinitum.v6i1.5>
- López, S. (2009). Análisis de los efectos del despido en los trabajadores: Propuesta de un modelo de gestión. *XXV Encuentro Nacional de Facultades de Administración y Economía*, Chile.
- Madadi, N., & Wong, K. (2013). A deterministic aggregate production planning model considering quality of products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 46. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/46/1/012015>
- Madanhire, I. & Mbohwa, C. (2015). Aggregate Production Planning Framework in a Multi-Product Factory. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Dubai, UAE. http://ieomsociety.org/ieom_2015/papers/114.pdf
- Martínez Rodríguez (2007). Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una PYME. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, 40, 523-542.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2267954>

Mehdizadeh, E., Niaki, S. T. A. & Hemati, M. (2018). A bi-objective aggregate production planning problem with learning effect and machine deterioration: Modeling and solution. *Computers & Operations Research*, 91, 21-36. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.11.001>

Mortara V., Esteban, A., Tabone, L. & Zárata, C. (2016). El proceso analítico de jerarquías aplicado a seleccionar la mejor solución a un problema de producción. XXIX ENDIO – XXVII EPIO, CABA, Argentina. [http://www.epio.org.ar/epio2016/pdf/trabajos/XXIX%20ENDIO-XXVII%20EPIO-2016 Submission%2015.pdf](http://www.epio.org.ar/epio2016/pdf/trabajos/XXIX%20ENDIO-XXVII%20EPIO-2016%20Submission%2015.pdf)

Mortara, V., Tabone, L. & Zanfrillo, A. (2019). Comparación de herramientas de apoyo a la toma de decisiones estratégicas de una organización de salud. XII Simposio Internacional de Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias, Manizales, Colombia. <https://congresos.autonoma.edu.co/sites/default/files/congresos/memorias-simposio-industrial-2019.pdf>

Motoa, T., Osorio, J. & Orejuela, J. (2013). Planificación jerárquica de la producción: El estado del arte y presentación de experiencias. *Heurística*, 14, 35-50. <http://hdl.handle.net/10893/6114>

Munier, N. (2011). *Procedimiento fundamentado en la programación lineal para la selección de alternativas en proyectos de naturaleza compleja y con objetivos múltiples*. Tesis for Ph.D.: Diseño, Fabricación y Gestión de Proyectos Industriales, Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2204.3367>

Oeinarto, L.S. (2014). Analysis of aggregate planning for development strategy: Case study of gasoline distribution company in Indonesia.

PAPplied Mathematical Sciences, 8 (97), 4815-4829. <http://dx.doi.org/10.12988/ams.2014.46458>

Orozco, E., Sablón, N., Diéguez, K. & Lomas, C. (2018). Plan agregado de una empresa textil. Caso de estudio de Imbabura, Ecuador. *Episteme*, 5 (3), 263-278. <http://45.238.216.13/ojs/index.php/EPISTEME/article/view/1073>

Rasmi S., Kazan C. & Türkay M. (2019). A multi-criteria decision analysis to include environmental, social, and cultural issues in the sustainable aggregate production plans. *Computers & Industrial Engineering*, 132, 348-360. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.04.036>

Reyes, J. & Molina, C. (2014). Plan Agregado de Producción Mediante el Uso de un Algoritmo de Programación Lineal: Un caso de Estudio. *Revista Politécnica*, 34 (1), 108. https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/254

Rivera Chávez, A. (2008). IT Project Portfolio Selection using Analytic Hierarchy Process. *Industrial Data*, 11(2), 59-62. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=816/81619829008>

Saaty (2008). Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*, 1 (1), 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>

Salas, J., Leyva, M. & Calenzani, A. (2014). Modelo del proceso jerárquico analítico para optimizar la localización de una planta industrial. *Industrial Data*, 17 (2), 112-119. <https://doi.org/10.15381/idata.v17i2.12056>

Sánchez, M. & Garrido, L. (2013). Propuesta metodológica para integrar el seguimiento financiero a la planeación de la producción. XVIII Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática, México. <http://132.248.164.227/congreso/docs/xviii/docs/11.19.pdf>

- Saraçoğlu, Ö., Arslan, M., & Turkay, M. (2015). Aggregate planning problem from sustainability perspective. *2015 4th International Conference on Advanced Logistics and Transport (ICALT)*, 181-186. <https://doi.org/10.1109/ICAdLT.2015.7136616>
- Schenker, S., Steingrímsson, J., Borndörfer, R. & Seliger, G. (2015). Modelling of bicycle manufacturing via multi-criteria mixed integer programming. *Procedia CIRP*, 26, 276-280. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.068>
- Smith, R., Correa, A. & Aristizábal, J. (2004). Un enfoque de análisis multiobjetivo para la planeación agregada de producción. *Dyna*, 71(141), 15-27. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49614104>
- Tabone, L., Mortara, V., Morcela A., Boloquy I., & Bounoure J. (2020). Análisis multicriterio aplicado a la selección de un Plan Agregado de Producción. *International Conference of Production Research-Americas (ICPR-Americas)*, p. 330. Bahía Blanca, Argentina.
- Tapiero, S., Trujillo Barrios, D., & Guzmán, N. (2017). Aplicação de processo AHP analytic hierarchy para definir o melhor café da avaliação dos cafés especiais. *Coffee Science*, 12 (3), 374-380. <https://doi.org/10.25186/cs.v12i3.1301>
- Tirkolaee, E., Goli, A. & Weber, G. (2019). Multi-objective Aggregate Production Planning Model Considering Overtime and Outsourcing Options Under Fuzzy Seasonal Demand. In: Hamrol, A., Kujawińska, A., Barraza, M. (eds) *Advances in Manufacturing II. MANUFACTURING 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18789-7_8
- Toskano, G. (2005). *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores*. Tesis de Pregrado, UNMSM, Perú. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/toskano_hg.pdf
- Vaidyaa, O. S. & Kumarb, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of PAPlications. *European Journal of Operational Research*, 169 (1), 1-29. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028>
- Xu, Z. & Liao, H. (2014). Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22 (4), 749-761. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2013.2272585>

Autores

Luciana B. Tabone. Ingeniera Industrial y Especialista en Gestión de la Tecnología y la Innovación de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. Docente e investigadora del Dto. de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3755-5336>

Email: ltabone@fi.mdp.edu.ar

Ignacio Boloquy. Ingeniero Industrial de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. Docente e investigador del Dto. de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0466-5723>

Email: iboloquy@fi.mdp.edu.ar

Verónica A. Mortara. Ingeniera Electricista y Especialista en Administración de Negocios Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. Docente e investigadora del Dto. de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2387-2963>

Email: vmortara@fi.mdp.edu.ar

Antonio Morcela. Ingeniero Industrial Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina; Máster en Innovación y Gestión Estratégica (ISECOM, España) y estudiante del Magister en Ciencias, Tecnología y Sociedad De la Universidad Nacional de Quilmes, Argentina. Docente e investigador del Dto de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. Director del Departamento de Ingeniería Industrial.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0569-9450>

Email: omorcela@fi.mdp.edu.ar

Jacqueline Bonoure. Ingeniera Industrial de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. Docente e investigadora del Dto. de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1290-1642>

Email: jacqueline.bounoure@fi.mdp.edu.ar

Recibido: 23-12-2021

Aceptado: 18-06-2022