

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Decanato de Ingeniería

Maestría en Planeación Estratégica

y Dirección de Tecnología

Estrategia Multi-criterio para la Selección de Proveedores en una Empresa
Ortoprotésica

Presenta

Lizeth Romero Martínez

Tesis para obtener el Grado de Maestra
en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología

Puebla, México.

Febrero 2022



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Decanato de Ingeniería

Maestría en Planeación Estratégica

y Dirección de Tecnología

Se aprueba la tesis:

Estrategia Multi-criterio para la Selección de Proveedores en una
Empresa Ortoprotésica

Lizeth Romero Martínez

Comité Asesor

Dr. Santiago Omar Caballero Morales

Director

Dr. Emmanuel Olivera Pérez

Asesor 1

Dr. Juan Carlos Pérez García

Asesor 2

Dra. Argelia Fabiola Miranda

Pérez

Asesor 3

Dra. Alejandra Aldrette Malacara

Asesor 4

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el de contribuir con una propuesta de estrategia multi-criterio centrada en el análisis de las características con las que deben contar los proveedores para las empresas en el ramo ortoprotésico, aplicado en una compañía ubicada en la ciudad de Puebla, México. La propuesta se basa en el diseño de un modelo que corresponde al Proceso de Análisis Jerárquico Difuso; con el cual, se busca determinar la alternativa de proveedor con la que sea posible generar cotizaciones que se adapten a presupuestos de distintos niveles, cumplir con los estándares de servicio, reducción de costos de materias primas y, por consiguiente, en el valor de las prótesis para hacerlas más accesibles y así aumentar su producción.

ABSTRACT

The main objective of this work is to contribute with a multi-criteria strategy proposal focused on the analysis of the characteristics that suppliers should have for companies in the orthoprosthesis industry, applied to a company located in the city of Puebla, Mexico. The proposal is based on the design of a model that corresponds to the Fuzzy Hierarchical Analysis Process with the objective of determining the supplier alternative to generate quotations that adapt to budgets of different levels, comply with service standards, reduce raw material costs and, consequently, in the value of the prosthesis to make them more accessible and increase their production.

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que me apoyaron e hicieron posible que este trabajo se realice con éxito.

En especial a mis profesores por su apoyo y dedicación a lo largo de mi trayectoria académica.

A mi familia y amigos por acompañarme durante todo el proceso.

INDICE GENERAL

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
INDICE GENERAL	6
INDICE DE FIGURAS	8
INDICE DE TABLAS.....	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. MARCO TÉCNICO	13
2.1 Gestión de Proveedores	14
2.1.1 Empresas Comerciales.....	14
2.1.2 Empresas en el Sector Médico	15
2.2 Estrategia y Proceso de Selección de Proveedores	17
2.2.1 Criterios de Selección de Proveedores.....	20
2.2.2 Metodologías de Criterios Múltiples para la Selección de Proveedores.....	24
2.2.2.1 <i>Análisis Envolvente de Datos (DEA)</i>	27
2.2.2.2 <i>Programación Estocástica</i>	29
2.2.2.3 <i>Proceso de Análisis Jerárquico Difuso (FAHP)</i>	29
2.2.2.4 <i>Proceso de Red Analítica (ANP)</i>	32
2.2.2.5 <i>Teoría de Conjuntos Difusos (FST)</i>	33
3. SECTOR ORTOPROTÉSICO Y SITUACIÓN DE LA EMPRESA DE ESTUDIO	35
3.1 Panorama del Sector Protésico	35
3.1.1 Elementos de las Prótesis de Miembro Inferior	37
3.1.2 Costo Promedio de las Prótesis	39
3.1.3 Principales Proveedores	40
3.2 Situación de la Empresa	41
3.3 Metodología Propuesta.....	42
4. PROPUESTA DE MEJORA.....	44
4.1 Construcción de las Matrices de Comparación	50

4.2 Índice de Consistencia	52
4.3 Solución de Matrices Mediante el Método de Buckley	53
5. RESULTADOS	55
6. CONCLUSIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	72

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Elementos que componen la gestión de proveedores. Fuente: (Batson, 2018)	15
Figura 2.2 Estrategia para la selección de proveedores. Fuente: (Sarache et al., 2009)	19
Figura 2.3 Pasos para la selección de proveedores. Fuente: (Taherdoost & Brard, 2019)	20
Figura 2.4 Representación de números triangulares difusos. Fuente: (Herrera & Osorio, 2006).....	31
Figura 2.5 Ejemplo de arquitectura ANP. Fuente: (Jeong, 2020)	33
 Figura 3.1 Principales componentes de una prótesis transfemoral. Fuente: (Camargo et al., 2012)	38
 Figura 4.1 Pasos para generar la propuesta de selección de proveedores. Fuente: (Parra-Calderón et al., 2019).....	44
Figura 4.2 Estructura jerárquica propuesta. Fuente: Elaboración propia	46
 Figura 5.1 Representación gráfica de los pesos no difusos normalizados de los criterios. Fuente: Elaboración propia.....	55
 Figura 6.1 Representación gráfica de los pesos no difusos normalizados de los subcriterios económicos. Fuente: Elaboración propia.....	60
Figura 6.2 Representación gráfica de los pesos no difusos normalizados de los subcriterios de servicio. Fuente: Elaboración propia.....	61
Figura 6.3 Representación gráfica de los pesos no difusos normalizados de los subcriterios de producción. Fuente: Elaboración propia.....	61

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Resumen de operaciones y problemas asociados al suministro de materias primas en la empresa de caso de estudio.....	11
Tabla 2.1 Criterios importantes para selección de proveedores. Fuente: (Chen, 2011)	21
Tabla 2.2 Criterios y subcriterios. Fuente: (Ávila et al., 2012)	22
Tabla 2.3 Métodos de Selección de Proveedores. Fuente: (Konys, 2019; Simić et al., 2017)	27
Tabla 2.4 Escala de comparación por pares AHP difuso. Fuente: (Kamal et al., 2020).....	31
 Tabla 3.1 Descripción del nivel de actividad y la prótesis permitida. Fuente: Wanamaker et al. (2019)....	39
 Tabla 4.1 Información de los proveedores: Criterio Económico (Ec). Fuente: Elaboración propia (2021).	47
Tabla 4.2 Información de los proveedores: Criterio Servicio. Fuente: Elaboración propia (2021).....	48
Tabla 4.3 Información de los proveedores: Criterio Producción. Fuente: Elaboración propia (2021).....	48
Tabla 4.4 Valoración de los subcriterios, otorgada por el personal de la empresa. Fuente: Elaboración propia (2021)	49
Tabla 4.5 Matriz de primer nivel. Fuente: Elaboración propia (2021).....	51
Tabla 4.6 Matriz de segundo nivel. Fuente: Elaboración propia (2021)	51
Tabla 4.7 Matriz de tercer nivel. Fuente: Elaboración propia (2021)	51
Tabla 4.8 Índice Aleatorio (Random Index, RI). Fuente: (Raharjo & Endah, 2006)	53
 Tabla 5.1 Pesos no difusos normalizados de los criterios. Primer nivel de la jerarquía. Fuente: Elaboración propia.....	55
Tabla 5.2 Pesos normalizados de los subcriterios económicos. Segundo nivel de la jerarquía. Fuente: Elaboración propia.....	56
Tabla 5.3 Pesos normalizados de los subcriterios de servicio. Segundo nivel de la jerarquía. Fuente: Elaboración propia.....	56
Tabla 5.4 Pesos normalizados de los subcriterios de producción. Segundo nivel de la jerarquía. Fuente: Elaboración propia.....	57
Tabla 5.5 Pesos relativos no difusos normalizados de cada alternativa para cada criterio y subcriterio. Tercer nivel de la jerarquía. Fuente: Elaboración propia.....	57
Tabla 5.6 Pesos relativos no difusos normalizados de cada alternativa para cada criterio y subcriterio. Tercer nivel de la jerarquía. Fuente: Elaboración propia.....	58

1. INTRODUCCIÓN

En la sociedad es primordial brindar rehabilitación a las personas que hayan requerido la amputación de alguna parte de su cuerpo. En este aspecto, el diseño y uso de prótesis apoyan a que el proceso de reincorporación a la sociedad sea lo más sencillo y completo posible para estas personas. De igual manera, las prótesis ayudan a reducir los efectos psicosociales asociados a la pérdida de la independencia y sentimientos de negatividad, tanto en la vida social como en la laboral, que comúnmente afectan a las personas con amputaciones (Font Jimenez et al., 2016).

En México, existe una alta demanda de prótesis. Tan solo en 2015 se reportaron en promedio 75 amputaciones diarias (Vela et al., 2015) y de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda del año 2020, existen 20,838,108 personas (53% mujeres y 47% hombres) que presentan alguna limitación o discapacidad (INEGI, 2020). Sin embargo, acceder a una prótesis que sea adecuada a las necesidades de la persona afectada no es fácil.

El costo de los equipos depende de las necesidades de los pacientes, alcanzando precios mayores a 200,000 pesos (aproximadamente 10,000 USD) (Graue et al., 2016). No obstante, el 48.8% de la población es de escasos recursos y únicamente el 20.2% cuenta con acceso a servicios de salud (CONEVAL, 2020). Esto dificulta su adquisición, lo cual ocasiona que las personas con discapacidad no reciban un servicio médico adecuado (OMS, 2017b).

Por otro lado, la fabricación de prótesis es una tarea compleja dado que debe tomarse como referencia factores anatómicos y fisiológicos de los pacientes tales como la edad, sus condiciones físicas generales, nivel de amputación y condición muscular, por mencionar algunos (Carretero Jacinto, 2016). Por ello, el suministro de las materias primas, las cuales tienen un impacto significativo en el precio final del producto (Çebi & Bayraktar, 2003), debe realizarse de una manera adecuada para garantizar niveles altos de calidad, disponibilidad de materiales, y evitar gastos y/o pérdidas innecesarias.

Dado que las operaciones de suministro dependen de los proveedores, la gestión estratégica de los mismos es un factor clave. Cada decisión en este proceso representa consecuencias directas e indirectas que se traducen en pérdidas o ganancias para la empresa (González et al., 2004) y se considera a que la metodología de selección de proveedores es un proceso de toma decisión vital para que una cadena de suministro sea exitosa (Che & Chang, 2016).

En este contexto, el presente trabajo contribuye con una estrategia multi-criterio enfocada en las características específicas que deben tener los proveedores para las empresas en el ramo ortoprotésico. Esta estrategia, al considerar criterios de selección específicos para proveedores, puede apoyar en los siguientes aspectos:

- generación de cotizaciones que se adapten a presupuestos de distintos niveles;
- fabricación de productos con materias primas adecuadas a los requerimientos necesarios de cada paciente;
- reducción de costos de materias primas y, por consiguiente, en el valor de las prótesis para hacerlas más accesibles;
- aumento en la producción de prótesis.

Esta propuesta fue desarrollada a través de la metodología de caso de estudio. Para ello, se consideró una empresa en el ramo ortoprotésico en el Estado de Puebla en México. Los problemas de la empresa, las cuales se resumen en la Tabla 1.1, dan soporte a los aspectos cubiertos por la estrategia propuesta.

Tabla 1.1 Resumen de operaciones y problemas asociados al suministro de materias primas en la empresa de caso de estudio.

Acción	Problema
Incremento en costos de producción.	• Reducción en las ganancias por producto; • Reducción en el número de pacientes que pueden solventar el alto costo para adquirir el producto dado que cuentan con recursos económicos limitados.
Presupuesto personalizado que incluye diseño de socket y un cambio adicional, componentes de las articulaciones y ensamble de la prótesis.	• Selección de proveedor por la marca sin analizar otras opciones que sean mejores para el cliente. • No hay un método o estrategia que considere y compare los diversos factores de cada una de las opciones existentes.

Actualmente, la empresa cuenta con diversos proveedores, tanto nacionales como internacionales, que ofertan los productos necesarios. Sin embargo, la empresa no cuenta con un proceso de selección, basado en un modelo de criterios múltiples, en donde consideren factores cuantitativos y cualitativos (Kaya Samut & Erdoğan Aktan, 2019). Esta situación en ocasiones resulta en un producto ortoprotésico de precio elevado, causando que algunos pacientes no puedan acceder económicamente a ellas o se reduce el margen de ganancia y evita el crecimiento de la empresa.

La literatura correspondiente a metodologías de selección de proveedores en el sector ortoprotésico es limitada. Por esto se espera que los resultados obtenidos con este caso de estudio permitan contribuir al desarrollo de empresas mexicanas correspondientes al ramo.

2. MARCO TÉCNICO

Hoy en día, con los constantes avances tecnológicos y el fácil acceso a la información por parte de los clientes, las compañías se deben llevar un seguimiento constante de sus estrategias competitivas, las cuales generan un valor a los consumidores y las diferencian de sus oponentes. Como resultado de la globalización económica actual, se ha despertado un especial interés en el estudio de la gestión de la cadena de suministro, en donde las estrategias operativas han adquirido la misma importancia que las estrategias empresariales (El Mokadem, 2017; Karim & Arif-Uz-Zaman, 2013). De modo ue, se ha vuelto común adoptar prácticas y herramientas que permitan optimizar y dar un seguimiento constante a las etapas secuenciales de la cadena de suministro que son abastecimiento, producción y distribución. Cabe mencionar que, el cumplimiento de la primera etapa impacta directamente en el éxito de las siguientes, de modo que, tanto el desempeño general como la calidad de los productos o servicios de la empresa dependen, principalmente, de una base fiable de proveedores (Sarache et al., 2009).

Por otra parte, como lo describió por primera vez Michael Porter en 1979, citado posteriormente por él mismo durante 2008, dentro de su teoría de las cinco fuerzas, todas las empresas, sin importar el tamaño o el sector al que pertenezcan, comparten cinco elementos que impulsan o paralizan, su rentabilidad y son: el poder del cliente, el poder del proveedor, competidores entrantes, amenaza de productos sustitutos y la rivalidad actual (Porter, 2008). Prestando especial atención a los proveedores que, de acuerdo con la Real Academia Española, se definen como “una persona o empresa, que tiene como objetivo proporcionar o abastecer a un grupo, asociación o comunidad de todo lo que requiera” (RAE, 2020b).

Continuando con lo anterior, Porter describe que el poder que se les confiere se encuentra dado por ciertas características que permiten diferenciarlos del resto, entre las que se destacan: aquellos considerados monopolios, los que se encuentran presentes en diversas industrias y no dependen solo de una para sus ingresos y el aumento de costos por realizar un cambio de proveedor, por mencionar algunas (Porter, 2008). Asimismo, con los cambios constantes en las tendencias de mercado y el incremento de la competencia, ha aumentado la dependencia de las compañías hacia sus proveedores y actualmente se considera que la gestión de los mismos forma parte de las decisiones estratégicas de mayor relevancia dentro de la gestión de la cadena de suministro, y que determina el nivel de éxito de las mismas (Parra et al., 2019).

2.1 Gestión de Proveedores

2.1.1 Empresas Comerciales

En general, la gestión de proveedores se refiere al proceso que les permite a las empresas alcanzar un mayor beneficio de sus proveedores al controlar costos, mitigar riesgos e impulsar la excelencia en el servicio. Por otra parte, a través de la gestión de proveedores se relacionan la gestión de compras, de calidad y, por último, la cadena de suministro (Batson, 2008, 2018).

Como se observa en la Figura 2.1, durante la gestión de proveedores se realizan tres acciones principales: el control, la mejora y la planificación de ellos. Al planificar a los proveedores, se determinan las expectativas que se tienen de los proveedores actuales o los que se están buscando. En la mejora del proveedor, se busca aumentar su desempeño, basado en criterios. Por último, el control del proveedor, es la función central de la gestión donde se realiza la evaluación de su desempeño general; esta acción es el punto medio que conecta con el resto y permite el seguimiento constante (Batson, 2018; Juran & Godfrey, 1998).

Como se mencionó anteriormente, la gestión de proveedores es uno de los elementos principales de la cadena de suministro. Por ello, se considera que su éxito repercute directamente en el rendimiento de la misma dado que los productos suministrados son el punto de partida del resto del proceso (Hsu et al., 2016; Salam & Khan, 2018). Aquí la calidad del producto entregado a los clientes determina su satisfacción y por lo tanto, aumenta o disminuye la ventaja competitiva frente a sus competidores (Lii & Kuo, 2016; Pérez et al., 2015).

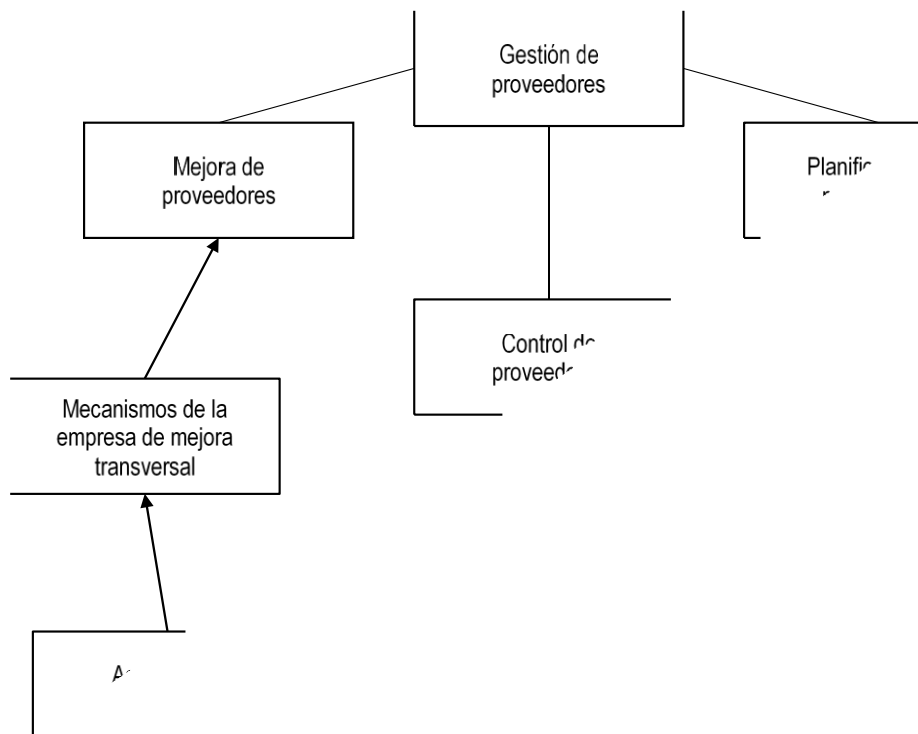


Figura 2.1 Elementos que componen la gestión de proveedores. Fuente: (Batson, 2018)

2.1.2 Empresas en el Sector Médico

La diferencia principal de las estrategias establecidas para gestionar la cadena de suministro entre las empresas comerciales y aquellas en el sector médico radica en su objetivo fundamental. En las empresas comerciales el objetivo es aumentar la rentabilidad mientras que en las empresas del sector salud el objetivo es realizar operaciones que repercutan en la salud, el bienestar y la integridad de los pacientes. Por lo tanto, dentro del área médica se maneja un enfoque de atención centrada en los pacientes con lo cual se busca brindar productos y atención de calidad a un menor costo. Sin embargo, a diferencia de las empresas comerciales, los proveedores de equipo e instrumental médico son más renuentes al momento de adoptar estrategias innovadoras dentro de sus procesos. Por ello, al operar de forma aislada se genera un desperdicio de recursos cuando eventualmente se ven obligados a cambiar (Kwon & Kim, 2018).

Debido a lo anterior, durante los últimos años se ha buscado optimizar las prácticas de gestión de la cadena de suministro en el sector salud con el propósito de minimizar errores, aumentar la calidad, ser más eficientes y aumentar la satisfacción de los pacientes. Asimismo, cabe mencionar que el ramo médico se encuentra compuesto por distintas áreas que tienen

requerimientos específicos de la cadena de suministro. Por ejemplo, los médicos buscan equipos de calidad sin importar el precio, mientras que los directivos de hospitales buscan disminuir los costos operativos, y los fabricantes y distribuidores buscan aumentar su participación en el mercado y aumentar su rentabilidad. En consecuencia, los administradores encargados de la toma de decisiones deben considerar cómo estas afectaran en el futuro de la empresa (Olden, 2019; Polater & Demirdogen, 2018).

Por otra parte, al igual que con las empresas comerciales, en el área médica los proveedores también tienen un rol principal en el éxito de su cadena de suministro porque de ellos depende la eficacia operativa, eficiencia y flexibilidad que se brinda a los pacientes (Zhao et al., 2013). Por lo esta situación, contar con proveedores confiables permite a las empresas, clínicas y hospitales llevar a cabo correctamente sus operaciones, ya que el transporte y producción dependen del compromiso que estos muestren (Kwon & Kim, 2018). Asimismo, los proveedores pueden aumentar el valor competitivo de la empresa y entregar un mejor servicio al cliente final, en este caso los pacientes (Polater & Demirdogen, 2018).

Por lo tanto, es vital identificar que el desempeño de cada uno, en relación a los parámetros establecidos por los directivos que toman la decisión, se ejerza acorde de las ventajas estratégicas planeadas. Esto sin olvidar que la prioridad es mejorar la salud de la población. Por ende, lo que se debe buscar es una integración holística entre los proveedores y el flujo de los servicios y los pacientes para disminuir los desperdicios, aumentar la eficiencia y mejorar los tratamientos médicos (Abdallah et al., 2017).

El proceso de seleccionar a los proveedores ideales representa un aspecto importante en los productos o servicios médicos que se entregan a los pacientes, ya que se busca que sean asequibles y de buena calidad (Dohmen & van Raaij, 2019). Por otra parte, en casos donde es posible, se recurre a expertos en el área que aporten su conocimiento. Esto debido a que, como consecuencia de la alta confidencialidad del sector, la información disponible sobre temas relativos a gestión y estrategia es limitada (Ghadimi & Heavey, 2014; Kaya & Yet, 2019).

Por último, al igual que en el resto de las industrias, la decisión de selección en el área médica comprende dos etapas básicas: en la primera, se genera una lista de posibles proveedores estratégicos; durante la segunda etapa se realiza un filtro en donde se analizan aquellas opciones que generen o aumenten el valor de la compañía, al cumplir con ciertos parámetros y métricas que se esperan. En el pasado, la práctica común dentro de las empresas era contar con solo un proveedor, ya que se tenía la creencia que permitiría reducir costos y

mejorar la colaboración. Sin embargo, dicha práctica ha quedado en desuso debido al riesgo alto que representa y en su lugar, se recomienda contar con una base de ellos, que se adapte a las necesidades personales de cada paciente (Nudurupati et al., 2015).

2.2 Estrategia y Proceso de Selección de Proveedores

Al momento de desarrollar la estrategia de adquisición de material, la selección y evaluación de los proveedores se marca como asunto principal. Anteriormente, el único criterio que se consideraba era el costo de la materia prima o componente. En cambio, ahora se ha demostrado que al considerar su comportamiento y desempeño en diversas áreas se logra tomar una decisión razonable, con lo que se previenen riesgos que podrían poner en riesgo al resto de la cadena. (Salam & Khan, 2018).

Por lo tanto, el proceso de toma de decisión corresponde a identificar el conjunto de actividades que ofrecen una mejor solución para un determinado problema (Maltugueva & Yurin, 2015b). Dentro de las empresas, el proceso ha evolucionado durante las últimas décadas. En el pasado, las elecciones las realizaba una sola persona buscando aumentar las ganancias. Sin embargo, como se ha mencionado, se ha demostrado que se requiere analizar múltiples factores, cualitativos y cuantitativos, a través del diseño y aplicación de metodología que se adapten a los crecientes cambios de mercado (Triantaphyllou, 2000).

Por otra parte, es importante considerar que el primer paso a realizar durante la etapa del planteamiento de la estrategia, la primera decisión corresponde a valorar si es necesario contar con un solo proveedor o si se requiere de una base conformada por varios de ellos (Chopra & Meindl, 2013). Dentro de las ventajas de contar con un solo proveedor para cierto componente se encuentran las siguientes: da opciones que ofrecen mejor calidad, posible flexibilidad sobre los precios y mejores tiempos de entrega cuando existe una buena relación con el proveedor. Por el contrario, al contar con varios proveedores se obtiene mayor flexibilidad y múltiples alternativas de compra (Salam & Khan, 2018), además de alcanzar una mayor seguridad al disminuir el riesgo de atraso durante las entregas y contar con respaldos en caso de que una fuente falle (Chopra & Meindl, 2013).

Ahora bien, la responsabilidad de elaborar la estrategia de selección recae en el personal directivo de la empresa, quienes tienen la tarea de analizar y valorar correctamente a las diversas opciones de proveedores con la finalidad de determinar su capacidad para

entregar productos que cumplan con los requisitos impuestos por la empresa y que permitirán cumplir las demandas esperadas por los clientes (El Mokadem, 2017).

Dado que se habla de un proceso importante, se deben emplear diversas herramientas y elementos que respalden la decisión entre las que se encuentran: las opiniones de expertos en el área, información estadística obtenida de datos históricos de la empresa, resultados de la metodología que muestre la situación actual y la opinión final del líder encargado de tomar la decisión (Maltugueva & Yurin, 2015b). Del mismo modo, se deben tener en cuenta los diversos riesgos asociados a la cadena de suministro, ya sean causados por eventos naturales o por descuido humano, así como el nivel de control sobre ellos (p.e., la disponibilidad de inventario, variación en la demanda, riesgo cambiario y desastres naturales). Cabe mencionar que, si bien es imposible controlar todos los riesgos que pueden suscitarse, se deben valorar los de carácter operacional, y aquellos que afecten de manera severa al cumplimiento de la entrega (Parra et al., 2019).

De manera simplificada, la Figura 2.2 describe el proceso a seguir para establecer una estrategia adecuada de selección de proveedores (Sarache et al., 2009). Se observa que el proceso comienza con la determinación del tamaño adecuado de la base de proveedores, es decir, si será uno solo o varios por cada componente o materia prima. Para ello, se debe analizar el contexto o panorama general, en otras palabras, determinar bajo qué situaciones se realizarán las compras (si será el proveedor fijo u ocasional), el tamaño de lote a comprar, el tiempo de entrega que se requiere, la relación que se mantenga con ellos, etc.

Dichas especificaciones detectadas, serán el fundamento para establecer una estrategia de selección que se encuentre alineada con la estrategia de operaciones, de manera que el desempeño de los proveedores se alinee, y no interfiera, con las metas y objetivos operativos. Asimismo, se examinan los criterios de selección que influyen con el desarrollo del producto en cuestión. Posteriormente, se prosigue con el desarrollo y establecimiento de metodologías, las cuales integran toda la información, cuantitativa y cualitativa, recopilada a lo largo del proceso. Por último, el líder encargado estudia si la respuesta obtenida fue la adecuada y se toma la decisión final, con lo cual se prosigue a la siguiente etapa de la cadena de suministro.

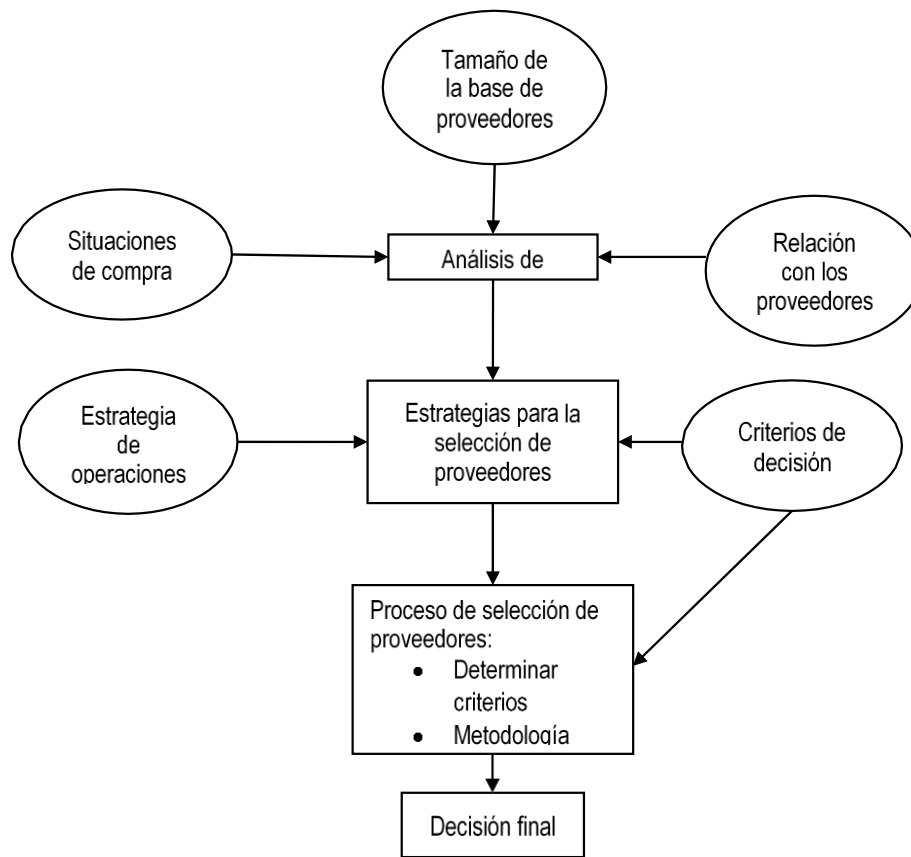


Figura 2.2 Estrategia para la selección de proveedores. Fuente: (Sarache et al., 2009)

Como se ha mencionado, la estrategia de selección de proveedores impacta en el desempeño final de la cadena de suministro. Ahora bien, centrando la atención en el proceso de selección se tiene que, como se muestra en la Figura 2.3, existen tres puntos fundamentales. En primer lugar, identificar los criterios de relevancia con los que se generará el análisis, los cuales dependen de las circunstancias de adquisición de material. El segundo paso, consiste en realizar un análisis a la empresa, con la finalidad de identificar la situación actual y con ello las ponderaciones adecuadas de cada uno de los criterios y subcriterios. Por último, se determina la metodología de criterios múltiples, apropiada al problema de la empresa en cuestión. Sin embargo, si bien los pasos descritos se consideran los generales, no es una regla seguir la misma estrategia en todos los casos, ya que, dependerá del contexto en el que se encuentre la empresa de estudio (Taherdoost & Brard, 2019).

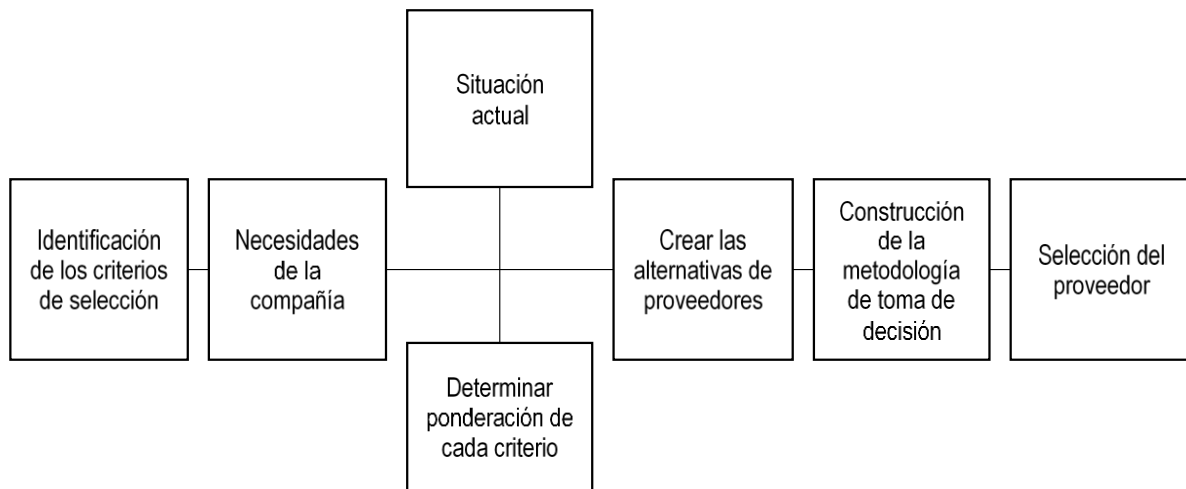


Figura 2.3 Pasos para la selección de proveedores. Fuente: (Taherdoost & Brard, 2019)

Por lo tanto, las afirmaciones anteriores muestran la importancia de realizar dicho proceso de forma cuidadosa ya que la decisión final repercute en el futuro de la empresa, tanto directa como indirectamente (González et al., 2004). Por ejemplo, entre las principales consecuencias se encuentran el aumento en la utilidad, una disminución en el tiempo de ensamble y el cumplimiento de los estándares de calidad requeridos, lo cual eventualmente mejora la competitividad de la empresa y con ello se obtiene la satisfacción de los clientes (El Mokadem, 2017; Kaya Samut & Erdoğan Aktan, 2019). No obstante, cabe mencionar que en algunas situaciones resulta en una decisión compleja, debido a la naturaleza y variedad de los productos producidos y al comportamiento de la demanda (Sarache et al., 2009).

2.2.1 Criterios de Selección de Proveedores

En el proceso de selección de proveedores, determinar los criterios relevantes y sus ponderaciones es uno de los principales retos (Ávila et al., 2012). Dentro de la literatura, destacan dos autores principales que con sus aportaciones han sido la base para estudios posteriores. En primer lugar, Dickson (1966) determinó 23 criterios importantes a considerar para llevar a cabo el proceso de toma de decisión y realizó la clasificación de los mismos, concluyendo que los tres factores principales son: Calidad, Entrega e Historial de Rendimiento. En segundo lugar, Weber et al. (1991), generaron una revisión de 74 artículos

en donde, utilizando como referencia los criterios listados por Dickson, se determinaron aquellos más utilizados en la industria. En sus descubrimientos se determinó que los tres de mayor relevancia son: Precio, la Calidad y el Tiempo de Entrega. Las aportaciones de Dickson y Weber, mostradas en la Tabla 2.1, han sido el fundamento de los criterios utilizados en las metodologías implementadas hasta la actualidad.

Tabla 2.1 Criterios importantes para selección de proveedores. Fuente: (Chen, 2011)

Criterio de evaluación	Clasificación de importancia de Dickson	Importancia de Weber	Cantidad de referencia
Precio	6	Muy importante	61
Entrega a tiempo	2	Muy importante	44
Calidad	1	Extremadamente importante	40
Equipo y capacidad	5	Muy importante	23
Ubicación geográfica	20	Importante	16
Capacidad técnica	7	Muy importante	15
Gestión y organización	13	Importante	10
Reputación industrial	11	Importante	8
Situación financiera	8	Muy importante	7
Historial de rendimiento	3	Muy importante	7
Servicio de mantenimiento	15	Importante	7
Actitud de servicio	16	Importante	6
Capacidad de envío	18	Importante	3
Capacidad de control de producción	14	Importante	3
Capacidad de capacitación	22	Importante	2
Legalidad del procedimiento	9	Muy importante	2
Relaciones laborales	19	Muy importante	2
Sistema de comunicación	10	Muy importante	2
Negociación mutua	23	Importante	2
Imagen anterior	17	Importante	2
Relaciones comerciales	12	Importante	1
Ventas anteriores	21	Importante	1
Garantía y compensación	4	Muy importante	0

Por otra parte, con los cambios que han sufrido las industrias, la lista propuesta por Dickson se ha complementado. Dentro de la literatura, algunos autores los clasifican en criterios principales y subcriterios relacionados. Tal es el caso de Ávila et al. (2012), en donde se presentan cinco criterios o sistemas principales y cada uno de ellos con cinco subcriterios relacionados que pueden considerarse en diferente medida, dependiendo del caso de estudio. Como se muestra en la Tabla 2.2, los criterios generales son: Calidad, Financiero, Sinergias,

Costo y Producción. El criterio de Costos, concentra los efectos que se encuentran involucrados en los gastos del intercambio comercial. En el criterio de Producción se evalúan los criterios del desempeño de los procesos, así como el nivel de innovación de los proveedores. El criterio de Calidad, se forma por factores que repercuten en la calidad del producto o servicio entregable al cliente. Por otra parte, el criterio Financiero se refiere a la situación económica del proveedor. Por último, en cuanto al criterio de Sinergias, este se refiere a los elementos que tienen la capacidad de aumentar el beneficio entre clientes y proveedor, en toda la cadena de suministro.

Tabla 2.2 Criterios y subcriterios. Fuente: (Ávila et al., 2012)

Criterios principales	Subcriterios
Sistema de calidad	Sistemas de gestión de calidad
	Garantías
	Nivel de servicio
	Orientación al cliente
	Sistema de gestión de calidad total
Sistema financiero	Razones económicas-financieras
	Indicadores de valor añadido
	Estabilidad financiera
	Contractualización
	Precio cotizado en el mercado financiero/capitales
Sistema de sinergias	Potencial de sinergias
	Ubicación
	Aspectos estratégicos
	Relaciones inter-organizacionales
	Aspectos culturales
Sistema de costos	Costo de producto
	Costo logístico
	Flexibilidad de pago
	Costo del servicio postventa
	Costos de capacitación
Sistema de producción	Preocupación medioambiental
	Características productivas en la producción
	Innovación
	Gama de productos
	Capacidad de producción

Cabe mencionar que, además de los criterios tradicionales, las empresas han comenzado a considerar diversos factores que repercuten social y ambientalmente como lo son: Responsabilidad Ambiental y Social, Certificaciones Ambientales, Uso de Material Ecológico, la Conciencia de Seguridad, la Estabilidad Política Nacional, la Congruencia

Cultural y Desarrollo Tecnológico (Cengiz et al., 2017; Konys, 2019; Taherdoost & Brard, 2019; Thanaraksakul & Phruksaphanrat, 2009).

Sin embargo, los criterios considerados, y el nivel de importancia de cada uno, se definen dependiendo del contexto de la organización. Por ejemplo, las necesidades cambian dependiendo el tamaño de la empresa, el país en donde se encuentra, la situación de la empresa frente a su competencia, el tipo de industria al que pertenece y de la estrategia corporativa. No obstante, existen algunos de ellos que se consideran criterios básicos como lo son: el nivel de Calidad, Tiempo de Entrega, Costo Total, Sistemas, Procesos, Flexibilidad y Servicio. Por otra parte, al considerar un proveedor que se encuentra en un país en vías de desarrollo destacan los factores relacionados con la producción como lo son: la Fiabilidad del Producto y la Capacidad del proveedor. Además, se deben considerar algunos factores de riesgo, entre los que destacan: la Estabilidad Política Nacional, los aspectos Económicos y el Riesgo de Terrorismo (Thanaraksakul & Phruksaphanrat, 2009; Zubar & Parthiban, 2014).

En el caso de empresas manufactureras de equipo médico, se consideran como criterios relevantes aquellos relacionados con la calidad del producto, como lo son la Confiabilidad y la Estabilidad, así como el Servicio brindado Durante y Posterior a la Venta (p.e., capacidad de respuesta que otorgan los proveedores, conocimiento y capacidad para resolución de problemas por parte del vendedor, acciones de respuesta a productos defectuosos). Esto debido a que el servicio en el sector salud debe ser ininterrumpido. Sin embargo, no quedan fuera los factores genéricos como las Condiciones de Pago y el Costo Total (Beşkese & Evecen, 2012; Lambert et al., 1997).

La OMS considera que algunos de los factores relevantes durante la adquisición de elementos médicos son: Calidad, Costos, Idoneidad, Uso y Mantenimiento. En cuanto a la Calidad, los subcriterios que considera son el Diseño y Desempeño del Componente, el Material, Seguridad y Empaquetado. En algunos casos el Costo se relaciona directamente con la Calidad, por lo que, en ocasiones no es aconsejable recurrir a la opción más económica. Sobre el Uso y Mantenimiento destaca el Respaldo Técnico, los Consumibles y el Entrenamiento para su uso correcto. Por último, en la Idoneidad se refiere a que los equipos adquiridos de los proveedores sean adecuados y compatibles con el contexto social y cultural en donde será utilizado (WHO, 2001).

2.2.2 Metodologías de Criterios Múltiples para la Selección de Proveedores

La toma de decisiones es un proceso relacionado con la recolección y procesamiento de determinada información, se compone por las siguientes etapas:

- Recopilación de información
- Identificación de opciones o alternativas, criterios y/o factores principales
- Selección de la mejor alternativa del total presentado

Para llevar a cabo el proceso existen dos maneras, generarlo de manera individual o en grupo. Cuando se realiza de forma individual, la persona encargada de tomar la decisión es la misma responsable de afrontar las consecuencias. Por el contrario, al realizarlo en grupo se toma en cuenta el juicio de todos los expertos involucrados, en donde se debe encontrar un objetivo único en conjunto. Por otra parte, se identifican cuatro componentes principales del proceso: determinar las opciones a considerar, los criterios o factores con los que se evalúan las opciones, las restricciones de cada alternativa y las consecuencias e incertidumbres de la decisión. Esto es considerado un medio de relevancia dentro de la gestión de proyectos, al aportar respuestas en tiempo real a problemas de incertidumbre, en los cuales para obtener un resultado racional se debe considerar la opinión de expertos, informes estadísticos de datos históricos y proyecciones futuras, así como el juicio del líder (Herrmann, 2017; Maltugueva & Yurin, 2015a; Stojčić et al., 2019).

Existen tres perspectivas a considerar durante el proceso de toma de decisiones. En primer lugar, se encuentra la perspectiva de resolución de problemas, en la cual se plantea el problema y los objetivos a evaluar, junto con sus alternativas de solución y restricciones. En segundo lugar, la perspectiva del sistema de toma de decisiones establece la razón por la cual se debe realizar la decisión mediante la relación entre los objetivos del problema y su impacto en la organización. En tercer lugar, la perspectiva del proceso de decisiones plantea la forma en la que tomará la decisión, al reunir información y evaluar las opciones disponibles. Al identificar los elementos de cada una de las perspectivas del proceso de toma de decisiones se busca que el procedimiento se simplifique (Herrmann, 2017).

En cuanto a la toma de decisiones dentro del área médica, se considera como un marco de apoyo, que se incorporó de manera relativamente reciente, y que ha demostrado ser de gran importancia para brindar un enfoque objetivo que considera a la salud como una prioridad insustituible e invaluable. En donde, identificar la mejor alternativa, ya sea desde

asignar recursos o designar el tratamiento adecuado a los pacientes, debe realizarse de manera transparente e integral (Glaize et al., 2019).

De acuerdo con la RAE, las metodologías se definen como la suma de los métodos y actividades que se realizan durante una investigación científica o en una exposición doctrinal (RAE, 2020a). Por lo cual, al adaptar el concepto al proceso de toma de decisiones se concluye que la metodología consiste en la aplicación de modelos o técnicas, donde se obtiene el resultado de la interacción entre los criterios múltiples que intervienen y que permite a los evaluadores distinguir todas las opciones para dar solución a los problemas de forma consolidada (Herrera & Osorio, 2009). La complejidad de su aplicación y resolución se da por diversas situaciones entre las que se encuentran la variabilidad de los criterios y alternativas, que a veces se relacionan entre sí y por lo tanto entran en conflicto, y el nivel de experiencia del tomador de decisiones (Parra-Calderón et al., 2019).

Ahora bien, las metodologías empleadas durante la toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM), también conocidas como Análisis de Decisiones de Criterios Múltiples (MCDA) y Toma de Decisiones de Atributos Múltiples (MADM), son las más utilizadas en problemas de selección de proveedores (Khan et al., 2018). MCDM es el término general que se utiliza para agrupar a todas las técnicas científicas, computacionales y matemáticas, en los que se realizan combinaciones y análisis del desempeño de más de un criterio con la finalidad de determinar o clasificar, de forma racional y eficiente, a la mejor opción que se adapte a las necesidades buscadas entre un grupo de alternativas. Actualmente se utilizan a lo largo de diversos sectores, siendo los más comunes: negocios, producción, economía e ingeniería (Chowdhury & Paul, 2020; Mardani et al., 2015; Nadkarni & Puthuvayi, 2020; Sousa et al., 2021).

En la actualidad, existe gran variedad de modelos para seleccionar proveedores en concordancia con objetivos estratégicos que consideren múltiples criterios. Estos se pueden clasificar en métodos de medición de valor, modelos de objetivo o nivel de referencia, y técnicas de clasificación (Hafezalkotob et al., 2019);. Sin embargo, para determinar la metodología más adecuada es necesario comprender la totalidad del problema. Esto porque a través de los resultados obtenidos se establece el proceso de decisión, se comprueban los criterios y permite a los tomadores de decisiones emitir juicios de valor y reflexionar sobre ellos (Mardani et al., 2015; Parra et al., 2019).

Por lo general, las metodologías MCDM coinciden en el procedimiento de organizar la información utilizando una matriz de decisiones, en donde la diferencia se encuentra en la forma de procesar y clasificar la información. Por ello la elección del método se da dependiendo del problema y la solución buscada, puesto que algunos entregan soluciones incompletas, realizan una clasificación jerarquizada de las opciones o diferencian entre las opciones aceptables e inaceptables, y otros muestran la alternativa óptima (Linkov et al., 2006).

La estructuración de un modelo MCDM se separa en dos fases principales: la estructuración del problema y la estructuración del modelo de evaluación multi-criterio. Cada fase es formada por diversas tareas que le permiten al tomador de decisiones considerar todos los factores involucrados. Durante la primera fase se define el problema que requiere solución y se identifica el nivel de participación que tendrá cada uno de los involucrados en él. Mientras que la formulación de la segunda fase consiste en clasificar los criterios a evaluar en base a los objetivos buscados, se establecen sus relaciones y plantean las diversas alternativas de solución que se esperan del modelo (Franco & Montibeller, 2011).

Existe una clasificación de los modelos existentes para la selección de proveedores, que pueden ser utilizados ya sea de manera particular o combinados; en donde, los métodos se encuentran divididos en tres categorías principales dependiendo del enfoque requerido: modelos de programación matemática, modelos de ponderación lineal o inteligencia artificial y enfoques estadísticos o probabilísticos. En los modelos de programación matemática, su finalidad es seleccionar una lista de proveedores para maximizar una función objetivo que se encuentra sujeta a las limitaciones del proveedor, en ella se puede considerar un criterio único o de criterios múltiples. Mientras que, los modelos de ponderación lineal, se fundamentan en una situación en donde se estima una calificación para cada uno de los criterios, que posteriormente se suma para determinar el desempeño de cada opción. Por último, en los estadísticos se utiliza como base la probabilidad de cada alternativa y su impacto en la cadena de suministros (Konys, 2019). En la Tabla 2.3 se muestran los diversos métodos clasificados por su enfoque. Sin embargo, los principalmente utilizados, ya sea de manera individual o combinados, son los que se catalogan con enfoque matemático e inteligencia artificial. Entre estos se destacan los siguientes: proceso de análisis jerárquico, programación estocástica, análisis envolvente de datos, teoría de conjuntos difusos, proceso analítico de redes, razonamiento basado en casos y análisis del componente principal (Konys, 2019; Simić et

al., 2017). Dentro de las siguientes secciones, se describe, de manera general, algunos de ellos y se hace mención de algunos casos de estudio en donde han sido utilizados.

Tabla 2.3 Métodos de Selección de Proveedores. Fuente: (Konys, 2019; Simić et al., 2017)

Método de selección de proveedores			Abreviatura
Método único	Matemáticos	Proceso de análisis jerárquico	AHP
		Programación lineal	LP
		Programación de objetivos múltiples	MOP
		Propiedad de costo total	TCO
		Programación de objetivos	GP
		Análisis Envolvente de Datos	DEA
		Simulación	
		Heurísticos	
	Estadístico	Análisis de conglomerados	
		Regresión múltiple	
		Análisis discriminante	
		Análisis conjunto	
		Análisis de componentes principales	PCA
	Inteligencia artificial	Redes Neuronales	NN
		Agente de Software	SA
		Razonamiento basado en casos	CBR
		Sistema Experto	ES
		Teoría de conjuntos difusos	FST
Modelos combinados	Proceso de análisis jerárquico		AHP + GP
	Proceso de análisis jerárquico y programación lineal		AHP + LP
	Proceso de análisis jerárquico y teoría de conjuntos difusos		AHP + FST
	Análisis Envolvente de Datos y programación de objetos múltiples		DEA + MOP
	Técnica para la ejecución de pedidos por similitud con la solución ideal y la programación de objetivos		TOPSIS + GP
	Técnica para la ejecución de pedidos por similitud con la solución ideal y la teoría de objetivos difusos		TOPSIS + FST
	Coincidencia semántica y ontologías		

2.2.2.1 Análisis Envolvente de Datos (DEA)

El Análisis Envolvente de Datos, DEA por sus siglas en inglés (*Data Envelopment Analysis*), es un modelo matemático no paramétrico utilizado comúnmente dentro del área de economía e ingeniería, del cual se obtiene la eficiencia relativa con la que se producen bienes y servicios (Aparicio, 2007). Con base en sus resultados se construye una frontera eficiente, a partir de la proporción, de un conjunto de datos, conocido como unidades tomadoras de decisiones, comúnmente llamados DMUs (Londoño & Giraldo, 2009; Pereira et al., 2018; Rubem &

Brandão, 2015). Para su resolución, se ponderan los datos de entrada y los de salida y la relación entre ellas es considerada la eficiencia relativa de cada DMUs. Posteriormente, se comparan los resultados de eficiencia de todos los DMU (Che et al., 2011).

De modo que, a partir de la proporción generada, se determina si un DMU es eficiente o ineficiente, y por lo tanto, si se encuentra dentro de la frontera o no. Por su parte, un DMU se considera eficiente si cumple con dos condiciones: al conservar fija la cantidad de datos de entrada no aumenta la cantidad de datos de salida, y cuando no es posible, reducir la cantidad de datos de entrada sin alterar las cantidades de datos de salida (Londoño & Giraldo Pérez, 2009).

Utilizar este método presenta múltiples ventajas. En primer lugar, es posible utilizar datos cualitativos y cuantitativos simultáneamente para asignar un peso a los criterios. En el caso de la información cualitativa se utiliza el proceso de juicios subjetivos sobre la importancia de criterios. Mientras que con la información cuantitativa se genera un índice de entropía proveniente de la matriz de decisión. En segundo lugar, al utilizar el modelo para evaluar proveedores, se permite integrar el primer y el último enfoque de agregación y, por lo tanto, crear un modelo donde se incluyan todos los beneficios observados. Por último, no existe un límite en la cantidad de información de entrada ingresada. Al contrario, al aumentar los datos se expande la matriz de decisión y por lo tanto el índice de entropía resultante se vuelve más preciso y confiable (Davoudabadi et al., 2020).

Por último, se ha observado que el presente método es ampliamente utilizado dada su versatilidad para dar solución a problemáticas de selección de proveedores, utilizado de forma pura o combinado con otros métodos. Por ejemplo, en las investigaciones realizadas por Davoudabadi et al. (2020), presentan una combinación con el análisis de los componentes principales para determinar las opciones que presenten la suficiente flexibilidad para contrarrestar las fluctuaciones. Por otra parte, Che & Chang (2016) aplican el método dentro de una empresa manufacturera de esfigmomanómetros. Mientras que Tavassoli et al. (2020) realizaron un estudio con condiciones deterministas, estocásticas y difusas. En otro escenario Karsak & Dursun (2014) aplican la metodología dentro de la gestión de un hospital en Estambul. Por último, Dobos & Vörösmarty (2019) y Rashidi & Cullinane (2019) presentan un modelo adecuado para una cadena de suministro con enfoque ecológico.

2.2.2.2 Programación Estocástica

La programación estocástica es un modelo complejo que se creó entre las décadas de 1950 y 1960. Sin embargo, durante sus inicios se le restaba importancia y su grado de aplicación era limitado debido a la gran extensión de los sistemas estocásticos que se generaban y las limitantes tecnológicas de la época. Debido a esto, el aumento de su uso se dio cuando avanzaron los sistemas computacionales y se obtuvieron avances en su modelación matemática (De Carvalho, 2018; Xu & Nozick, 2009).

Es un método que considera dentro de sus coeficientes a la incertidumbre, y el cual, depende de la distribución de probabilidad adyacente. Es comúnmente utilizado dentro de los problemas reales de toma de decisiones, en específico de la planeación de la cadena de suministros, en los cuales la incertidumbre cuenta con un rol principal, y que por lo general se refieren a información futura. Utilizando esa premisa como base, se considera que la problemática a tratar se refiere a un sistema que progresa con el paso del tiempo y que es posible modelar la problemática mediante un árbol de decisiones que represente todos los posibles escenarios, en el cual se representen los riesgos de tomar una mala decisión (Alonso et al., 2006). Por otra parte, cuando la persona encargada cuenta con cierto grado de experiencia, utilizan su preparación previa para estimar los valores desconocidos y obtener resultados óptimos. Sin embargo, es necesario justificar esas decisiones mediante las llamadas “afirmaciones de estabilidad” (Herrera & Narciso, 2017).

Existen diversos casos de estudio sobre selección de proveedores utilizando la programación estocástica a través de diversas funciones matemáticas en las que, por lo general, se utiliza un modelo de dos pasos. Como casos de aplicación se tienen los trabajos de Xu & Nozick (2009) para determinar a sus proveedores de base y los ocasionales, Ekhtiari et al. (2018) quienes muestran un enfoque dentro de la industria metalúrgica, y Khalilzadeh & Derikvand (2018) quienes buscan opciones que permitan mantener un enfoque sustentable dentro de la cadena de suministro.

2.2.2.3 Proceso de Análisis Jerárquico Difuso (FAHP)

El modelo tradicional del Proceso de Análisis Jerárquico, o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) involucra decisiones con criterios múltiples y fue creado por Saaty a finales de la década de 1970. En este modelo las alternativas racionales e intuitivas son igual de

importantes para la toma de decisiones, y se encuentra compuesto por cuatro etapas: la construcción jerárquica, la determinación de prioridades, la afinidad del sistema y el cálculo del coeficiente de consistencia (Byun et al., 2021).

La primera etapa consiste en generar un diagrama visual de las opciones a determinar. Por su parte, durante la segunda etapa, se establecen las prioridades de los elementos mediante la escala de 9 puntos de Saaty y posteriormente se comparan por pares mediante matrices. La tercera etapa consiste en utilizar la teoría matricial para establecer una comparación global en donde el resultado obtenido es la base de la toma de decisión. En la última etapa se calcula el coeficiente de consistencia, el cual comprueba que no exista un error entre los resultados y el cual debe ser menor a 0.10 (Osorio et al., 2008).

El Proceso de Análisis Jerárquico Difuso, o *Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)*, es un método que incorpora la lógica difusa al AHP tradicional para considerar la incertidumbre que existe durante la resolución de problemas reales. La incorporación de la teoría de conjuntos difusos se incorpora, tanto en el AHP, así como en otras técnicas con la finalidad de tener en consideración a la incertidumbre que rodea a las decisiones humanas. Con ello, se define de mejor manera el peso de los criterios para determinar las prioridades de las alternativas mediante una comparación por pares (Lee et al., 2008; Liu et al., 2020; Nirmala & Uthra, 2019; Zadeh, 1965). Es por su practicidad y precisión que es uno de los métodos MCDM más utilizado en situaciones de toma de decisiones en diversas industrias (Kubler et al., 2016). La diferencia principal que existe entre el método tradicional y el difuso radica en la tabla de clasificación de criterios, ya que en este caso se considera una escala triangular difusa que considera los juicios sobre cada criterio de la persona, o grupo de personas, encargadas de realizar el procedimiento (Parra-Calderón et al., 2019).

El procedimiento consta de cuatro pasos generales. En el primer paso se debe establecer la estructura jerárquica mediante un diagrama, en donde se identifique la meta u objetivo principal que se desea alcanzar, y se establezcan los criterios y las alternativas de solución. En el segundo paso, se establece la representación difusa de los niveles de prioridad entre criterios. Como se muestra en la Tabla 2.4, la clasificación de importancia se da mediante un número triangular difuso, el cual se compone por $A = (l, m, u)$, en donde “ l ” representa el valor mínimo, “ m ” se considera el valor medio, y “ u ” es el máximo. La Figura 2.4 muestra de manera gráfica los números triangulares difusos. El tercer paso consiste en elaborar las matrices de juicio con las que llevarán a cabo la comparación por pares, en donde se analiza la importancia relativa que se le atribuye a los elementos de un nivel con respecto a los

elementos del nivel superior. Dicho procedimiento se lleva a cabo para todos los elementos presentes en el diagrama, es decir, se comparan los subcriterios con respecto a los criterios y entre las alternativas con respecto a los subcriterios. Por último, el cuarto paso consiste en realizar los cálculos matemáticos para su resolución (Herrera & Osorio, 2006; Kamal et al., 2020).

Tabla 2.4 Escala de comparación por pares AHP difuso. Fuente: (Kamal et al., 2020).

Valor de importancia de Saaty	Número triangular difuso	Escala lingüística de importancia	Número triangular difuso recíproco
1	(1,1,1)	Igualmente importante	(1,1,1)
2	(1,2,3)	Valor intermedio entre 1 y 3	(1/3,1/2,1)
3	(2,3,4)	Moderadamente más importante	(1/4,1/3,1/2)
4	(3,4,5)	Valor intermedio entre 3 y 5	(1/5,1/4,1/3)
5	(4,5,6)	Muy importante	(1/6,1/5,1/4)
6	(5,6,7)	Valor intermedio entre 5 y 7	(1/7,1/6,1/5)
7	(6,7,8)	Muy importante	(1/8,1/7,1/6)
8	(7,8,9)	Valor intermedio entre 7 y 9	(1/9,1/8,1/7)
9	(9,9,9)	Extremadamente importante	(1/9,1/9,1/9)

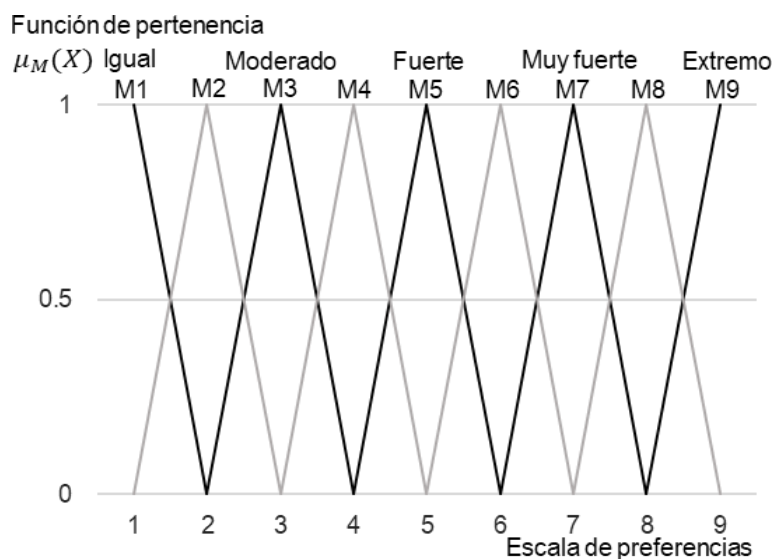


Figura 2.4 Representación de números triangulares difusos. Fuente: (Herrera & Osorio, 2006)

Existen múltiples enfoques para obtener los pesos relativos para el FAHP. Sin embargo, los comúnmente utilizados para obtener los pesos relativos de los criterios corresponden a los propuestos por Buckley (1985) y por Chang (1996), en donde Buckley propone la resolución mediante la obtención de las medias geométricas, mientras que Chang propone un análisis de extensión (Buckley, 1985; Chang, 1996; Kahraman et al., 2020).

Se ha demostrado que el FAHP puede ser de gran utilidad dentro del desarrollo de equipo médico (Byun et al., 2021). Además, proporciona solución a diversos problemas de selección de proveedores ya sea como método único o integrado con diversas metodologías. Por ejemplo, Fu et al. (2021) muestran una metodología compuesta por el AHP difuso, la evaluación de la relación aditiva difusa y programación de objetivos de múltiples segmentos para seleccionar proveedores de productos libres de impuestos dentro de la industria de aerolíneas. Nirmala & Uthra (2019) presentan un estudio con un nuevo enfoque, en donde se utiliza un número difuso intuicionista triangular (TIFN), el cual se valora dentro de las matrices mediante la aproximación del intervalo intuicionista ponderado más cercano (NWIIA).

En otro orden de ideas, Parra et al. (2019) utilizan el método para determinar a los proveedores bajo situaciones de riesgo. De igual manera, Awasthi et al. (2018) utilizan una metodología híbrida, basada en el modelo de Gold & Awasthi (2015) compuesta por AHP-VIKOR bajo un esquema sostenible. Por otra parte, Rodrigues et al. (2014) presentan un estudio generado mediante una combinación de TOPSIS-AHP difuso. Por último, Galankashi et al. (2016) proponen el uso de un *Balanced Scorecard* y el AHP difuso dentro del sector automotriz.

2.2.2.4 Proceso de Red Analítica (ANP)

El Proceso de Red Analítica, ANP por sus siglas en inglés (*Analytic Network Process*) es un método discreto de análisis de criterios múltiples en el cual se evalúan datos cualitativos e intangibles y datos cuantitativos (Reina-Usuga et al., 2018). Entre las principales ventajas que se presentan al utilizar el ANP resalta el análisis y justificación de decisiones complejas. Además permite enfocarse en objetivos más que en las alternativas (Jeong, 2020).

El modelo ANP se considera una generalización del proceso de análisis jerárquico (AHP) debido a que también considera la dependencia que existe entre sus elementos, llamados nodos. Ahora bien, la diferencia radica en que este método se utiliza en situaciones

donde no es posible establecer una relación jerárquica entre los elementos que conforman su estructura, dada una relación de dependencia que existe los criterios, en donde interaccionan elementos de niveles superiores con los de niveles inferiores. Por lo que, su estructura presenta más una forma de red que de jerarquía vertical, y los nodos que la conforman reciben tres nombres: fuente, intermedios o receptores. Los nodos fuente son los que inician los caminos, los intermedios aquellos que se encuentran durante el camino, y los receptores son el punto destino de un camino. Cabe mencionar que existen ciclos que enlazan los componentes, y puede darse el caso en donde se forman bucles que conectan un componente a sí mismo (Saaty & Vargas, 2006). Un ejemplo de arquitectura ANP se muestra en la Figura 2.5.

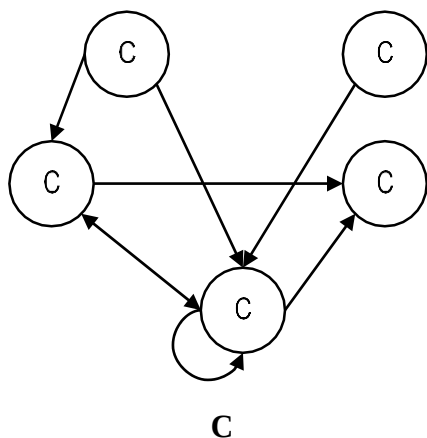


Figura 2.5 Ejemplo de arquitectura ANP. Fuente: (Jeong, 2020)

Entre sus aplicaciones dentro del proceso de selección de proveedores se encuentran los publicados por Tirkolaee et al. (2020), en donde se propone una metodología basada en un ANP difuso, DEMATEL y TOPSIS para clasificar, identificar y priorizar proveedores. En otro estudio, realizado por Abdel-Baset et al. (2019) se combinan los métodos ANP y VIKOR para identificar los pesos de los criterios y determinar la mejor solución. Mientras que Asadabadi (2017) presenta un enfoque orientado en las necesidades de los clientes, mediante el uso ANP, QFD y una cadena de Markov.

2.2.2.5 Teoría de Conjuntos Difusos (FST)

La teoría de conjuntos difusos (FST) se creó durante la década de 1960 por Lotfi Zadeh con la finalidad de representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad humana (factor difuso) que comúnmente se utiliza para tomar decisiones. Se basa en la creación de relaciones

de similitud difusa entre sus componentes. En sus inicios fungía únicamente como herramienta científica, y no fue sino hasta 1980 que se comenzó a utilizar dentro de los negocios e ingeniería en donde se ha empleado para desarrollar herramientas que enfrentan la imprecisión intrínseca de una variedad de problemas. Entre las principales ventajas que se han observado del método se encuentran: una disminución en el costo y un aumento en el rendimiento, en la productividad y en la eficiencia (Bustince et al., 2018; Kahraman et al., 2016; Wong & Lai, 2011).

Dentro de la teoría de conjuntos difusos, el valor de pertenencia de un conjunto de datos se clasifica dentro del intervalo $[0, 1]$. Por lo que se analiza el grado de pertenencia de un conjunto de datos difusos, llamado A en el grupo X , se representa por la función $\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$. De esta forma, el valor de $\mu_A(x)$ simboliza la pertenencia de x en A , en donde entre mayor sea el valor, significa que mayor será el grado de pertenencia. Además, la manera en la que se representa un número difuso se asigna de acuerdo con la particularidad del problema a tratar, siendo las más comunes las formas triangular y trapezoidal (Kabir & Papadopoulos, 2018). De manera que al ponderar el grado de pertenencia no se considera la existencia de un límite definido. Por consiguiente, cabe la posibilidad de que ciertos elementos de un conjunto pertenezcan a conjuntos diferentes en un cierto nivel de pertenencia (Moreira et al., 2015).

Por lo anterior, la teoría de conjuntos difusos suele ser utilizada al realizar la selección de proveedores al necesitar encontrar una solución con escasez de información concreta y al establecer ponderaciones de puntajes de desempeño según criterios (Simić et al., 2017). Kar (2015) muestra una metodología, aplicable dentro de cualquier sector, compuesta por el proceso de análisis jerárquico, la teoría de conjuntos difusos y redes neuronales. Banaeian et al. (2018) realizaron una comparación de los resultados obtenidos utilizando la teoría de conjuntos difusos y de los métodos TOPSIS, VIKOR y GRA, al seleccionar proveedores sustentables, en donde se encontró que los resultados eran similares en todos los métodos aplicados; mientras que (Gupta et al., 2019) combinaron los métodos AHP, MABAC, WASPAS y TOPSIS.

3. SECTOR ORTOPROTÉSICO Y SITUACIÓN DE LA EMPRESA DE ESTUDIO

3.1 Panorama del Sector Protésico

Anteriormente, los técnicos protesistas se limitaban a la fabricación y ensamble de los equipos. Sin embargo, en la actualidad el personal ha adquirido un papel clínico, a través de una educación y formación que permite identificar de manera integral las necesidades de los pacientes y formar parte de su rehabilitación total (Clarke et al., 2020).

La amputación es un procedimiento en el cual se extrae una parte de las extremidades, ya sea parcial o totalmente, con la finalidad de prevenir peores daños en el paciente (Fallon Jr., PhD, 2020). En México, una de las principales causas es el desarrollo de pie diabético (Gutiérrez-Carreño, 2014). De acuerdo con datos de la OCDE, el número de amputaciones de extremidades inferiores causado por esta enfermedad fue del 20% durante 2019 (OCDE, 2019). Además, durante dicho año, a nivel mundial, el país se encontraba en el sexto lugar con más casos de diabetes (FID, 2019).

Además de la diabetes, durante 2016 se observaron como principales causas de las amputaciones en el país enfermedades vasculares en un 81% de los casos, traumáticas en el 16% de las situaciones y amputaciones por cáncer y congénitas en un 3% (Graue Wiechers et al., 2016). Mientras que, en el contexto mundial se ha observado un crecimiento en lesiones deportivas y accidentes de tráfico. Así como con las amputaciones, a consecuencia de diabetes, se espera que la creciente incidencia de osteosarcoma eleve el mercado mundial (Grand View Research, 2021).

Existe información limitada y desactualizada respecto a las amputaciones y las prótesis. Los datos de 2014 reflejan que existían 900 mil amputados en el país y durante el año 2015 se estimaba un promedio de 75 amputaciones diarias (Vela Sánchez et al., 2015). De acuerdo con Graue Wiechers et al. (2016), citando a la OMS, indican que por cada 500 discapacitados se debería contar con un especialista ortoprotésico. Por lo tanto, deberían de existir al menos 2000 profesionales del dicho sector, mientras que en la realidad se cuentan con menos de 300 en todo el país, lo que corresponde a únicamente el 15% de lo recomendado (Graue Wiechers et al., 2016).

Ahora bien, el proceso de rehabilitación postoperatorio se lleva a cabo mediante la implementación y uso de una prótesis, el cual es un aparato especial que puede tomar la forma de la extremidad extraída. Así, además de utilizarlas con fin estético, se encargan de suplir la función biológica y motriz. En el caso de las prótesis mecatrónicas, estas pueden superar a las partes biológicas en algunos aspectos (Aman et al., 2019; Saikia et al., 2016). Por lo que ante la creciente necesidad surgió el concepto de biónica, que se encuentra formado por un conjunto de técnicas y sistemas mecánicos que, de manera artificial, imitan el funcionamiento de organismos vivos o partes de ellos. Tal es el caso de las prótesis, en donde su diseño y fabricación dependen de las necesidades de la persona, considerando la razón de la amputación o pérdida de la extremidad, la ubicación de la extremidad perdida y el estilo de vida del paciente (Al Muderis et al., 2016).

La industria mundial de prótesis y ortesis se valoró en 61,100 millones de dólares en 2020. Además, se pronostica una tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR) del 4.2% para el periodo comprendido de 2021 a 2028. En donde, el principal mercado de equipo protésico durante el año 2020 fue la región de América del Norte con una participación del 37.73% y se espera que en el futuro se observará la misma tendencia. Esto se atribuye principalmente a tres razones: una infraestructura sanitaria bien establecida, al aumento de las inversiones en investigación y desarrollo por parte de las empresas, y a las políticas de reembolso favorables. Por otra parte, se estima que el mercado de Asia y el Pacífico muestre crecimiento significativo durante el periodo 2020-2027, ya que la región se ve afectada por un número cada vez mayor de amputaciones relacionadas con la diabetes, un aumento del número de accidentes de tráfico, y las iniciativas gubernamentales de apoyo (Grand View Research, 2021).

Como se mencionó anteriormente, el desarrollo tecnológico e innovación representan un papel importante en el progreso y presentación de nuevos métodos. Por lo que, la asociación formada por el *World Intellectual Property Organization* (WIPO), la Universidad de Cornell e INSEAD publican, de manera anual, el Índice de Innovación Global. Este consiste en un ranking mundial de los países con mayor innovación, en donde se examina la manera en la que la tecnología abordará la atención sanitaria. Entre los países que lideran la lista sobre la calidad de sus innovaciones se encuentran Estados Unidos de América, Suiza, Japón, Alemania y los Países Bajos (Cornell University et al., 2021)

Por su parte, México se encuentra en el puesto 32 del Índice de Innovación Global 2020. Lo anterior, se observa en la infraestructura limitada y en la insuficiencia de

instituciones donde se proporcione el servicio de diseño de prótesis a todos los pacientes amputados que requieren de un equipo para su rehabilitación, disminuyendo así sus posibilidades de reincorporarse a la sociedad. Dentro de los principales centros destacan, el departamento de Ortésis y Prótesis del Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra (INR LGII), en donde se cuenta con un laboratorio propio para la fabricación de los componentes protésicos (INR LGII, 2017). Asimismo, otro centro de relevancia en el país es el Sistema para el Desarrollo Integral de la Familia en el cual, de acuerdo con datos reportados en 2019, se contaba con 21 unidades básicas de rehabilitación dentro de la República Mexicana (SNDIF, 2019).

Por lo tanto, se infiere que México se encuentra en desventaja en cuanto al desarrollo de tecnología, por lo que se presentan carencias con respecto a la innovación. Se requiere de profesionales que cuenten con competencias y habilidades relacionadas con la innovación y el progreso tecnológico. Es así como, la consolidación de la estabilidad social de México hace prioritario que los ciudadanos sean capaces de integrarse a los procesos productivos modernos y para ello, es indispensable elevar el nivel de aprendizaje de los estudiantes mexicanos en ciencias aplicadas y todas las áreas vinculadas con la innovación tecnológica. Con lo cual, se cree una política efectiva de desarrollo industrial, que contenga las estrategias con las que sea posible impulsar actividades y sectores que permitan mejorar la competitividad de las empresas nacionales (De la Cruz Gallegos, 2019).

3.1.1 Elementos de las Prótesis de Miembro Inferior

La función principal de las prótesis de miembro inferior es generar un apoyo a la persona durante la bipedestación y contribuir dinámicamente durante la marcha. Para su clasificación se considera el nivel de amputación, por lo que estas pueden ser: de dedos del pie, transmetatarsiana, de Lisfranc (tarso-metatarsiana), de Chopart (mediotarsiana), de Syme (a nivel del tobillo), tibiales, desarticulación de rodilla, transfemoral y desarticulación de cadera y hemipelvectomía (Serra, 2016).

Como se ilustra en la Figura 3.1, las prótesis de miembro inferior se componen por los siguientes elementos básicos: socket y adaptación protésica adecuada a cada nivel de amputación, estructuras, sistemas de suspensión, elementos intermedios como rodilla o cadera y los dispositivos terminales o pies protésicos. El elemento de mayor importancia es el socket, ya que debe ser cómodo para el usuario, amortiguar el peso corporal y transmitir

correctamente las fuerzas que se transmiten durante la marcha (Molina, 2019). Wanamaker et al. (2019) proponen que la elección de las prótesis de miembro inferior se realiza tomando en consideración una tabla propuesta por una aseguradora estadounidense, mostrada en la Tabla 3.1.

Es importante que, para la elección de los componentes protésicos se consideren diversos factores que influyen en la vida del paciente, como lo son; el nivel de amputación, el contorno del muñón, nivel de funcionabilidad de la prótesis, función cognitiva, estilo de vida, importancia estética y capacidad económica del paciente (KENYA BUREAU OF STANDARDS, 2017). En niveles generales, se busca que al menos la pierna protésica alcance una dorsiflexión de 20° de ángulo, eversion de 20° de ángulo y tener 117% de eficiencia de retorno de energía (Amsan et al., 2019).

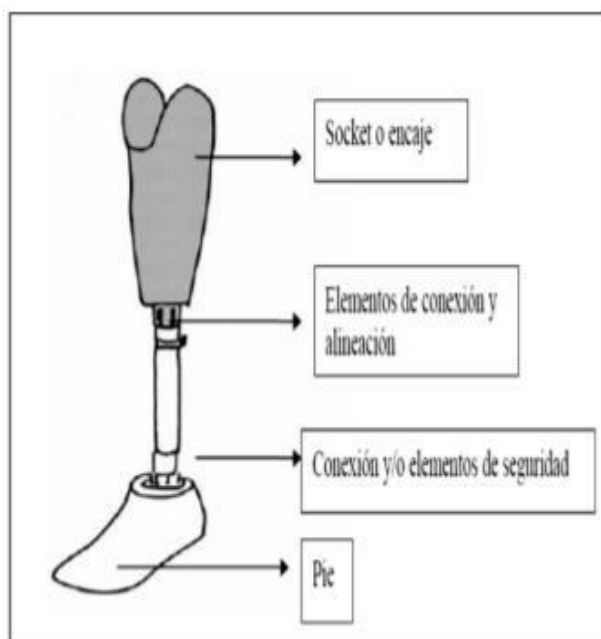


Figura 3.1 Principales componentes de una prótesis transfemoral. Fuente: (Camargo et al., 2012)

Tabla 3.1 Descripción del nivel de actividad y la prótesis permitida. Fuente: Wanamaker et al. (2019).

Nivel	Descripción	Tobillo protésico requerido	Rodilla protésica requerida
K0	No es posible para el paciente deambular de manera independiente sin el uso de asistencia. Una prótesis no mejora su movilidad.	Ninguno	Ninguno
K1	El paciente tiene la facultad de caminar en superficies niveladas, con una prótesis, en superficies niveladas, a una cadencia determinada.	Quilla externa, pie SACH o eje único.	Eje único, fricción constante.
K2	El paciente, además de desplazarse con una prótesis tiene la capacidad de atravesar barreras de bajo nivel (bordes, escaleras o superficies irregulares).	Pie de quilla flexible y multieje.	Eje único, fricción constante.
K3	El paciente se desplaza con cadencia variable, utiliza la prótesis para llevar a cabo más funciones que solo la marcha (actividad profesional, terapia o ejercicio).	Sistemas de pie y caminata flexibles, pies de almacenamiento de energía, pies de respuesta dinámica multieje.	Control de fluidos y neumático.
K4	El paciente tiene la capacidad de exceder las actividades básicas de deambulación. Se presenta comúnmente en niños, adultos activos y atletas.	Cualquiera. Se incluyen los dispositivos controlados por microprocesador.	Cualquiera. Se incluyen los dispositivos controlados por microprocesador.

3.1.2 Costo Promedio de las Prótesis

Para el ensamble de equipos protésicos se requiere de diversos componentes, materiales y maquinaria de alta calidad, los cuales en algunos países en desarrollo y de escasos recursos se vuelve imposible conseguirlos de manera local y deben ser importados. De acuerdo con la OMS (2017), el precio final de las prótesis cambia dependiendo de diversos factores, el principal se debe a los derechos de importación de los elementos impuestos en cada país, complicando la adquisición de los equipos para personas de escasos recursos. Por otra parte, se declaró que el personal de ortoprotésica es insuficiente y en algunos países, principalmente

aquellos en donde existe pobreza, no existe una fuerza laboral adecuada que brinde los servicios.

Ahora bien, como se ha mencionado anteriormente, el costo del equipo protésico depende en gran medida de los componentes y materiales utilizados durante su construcción, los cuales se obtienen de manera local o son importados (Çebi & Bayraktar, 2003; GVR, 2021). El costo del equipo se calcula considerando los requerimientos de cada paciente; dependiendo la edad, nivel de amputación, elementos electrónicos de control y nivel de actividad física del paciente (Wanamaker et al., 2019).

El equipo completo se ensambla con diversos componentes, por lo que cada uno de ellos se puede elegir tomando en cuenta las necesidades particulares y con ello determinar el costo total. En el país (México) por lo general su costo varía entre \$10,000 y \$200,000 pesos mexicanos. Sin embargo, algunos elementos especializados como lo es la rodilla puede alcanzar un costo de hasta \$600,000 pesos (Graue Wiechers et al., 2016). Por otra parte, (Haggstrom et al., 2012), reportan un promedio del costo del equipo protésico que va de entre \$58,200 y \$176,800. La complejidad de los elementos seleccionados dependerá de las necesidades anatómicas y fisiológicas de los pacientes, y con ello, el costo de estos. Cabe mencionar que los componentes sufren desgaste por su uso con el paso del tiempo, siendo uno de los elementos principales el socket. En promedio, se estima que se requiere realizar un cambio cada 1 a 3 años. Aunado a lo anterior, se reporta que en promedio se realizan de 9 a 11 visitas por año al profesional que realizó la prótesis, por temas de ajustes o modificaciones.

3.1.3 Principales Proveedores

Los componentes utilizados en los equipos protésicos son fabricados por proveedores locales e internacionales. Tal es el caso del INR LGII quienes, como se mencionó anteriormente, fabrican los elementos utilizados (INR LGII, 2017). Sin embargo, existen diversas empresas globales que cuentan con mayor participación en el mercado. Tal es el caso de la marca alemana Ottobock, quien ha puesto en marcha iniciativas estratégicas para establecer su posición en el mercado, como lo es el lanzamiento de nuevas rodillas pediátricas. Por otra parte, en el caso de la empresa Ossur, en 2018 introdujo una nueva línea de soportes. Algunas de las empresas más representativas en el mercado se presentan a continuación junto con su país de origen: Blatchford, Inc. (Reino Unido), Fillauer LLC (Estados Unidos), The Ohio

Willow Wood Company (Estados Unidos), Ossur (Islandia), Steeper Group (Reino Unido) y Ottobock Healthcare GmbH (Alemania) (GVR, 2021).

Por otro lado, cabe mencionar que, ante el aumento de la demanda y los costos elevados, además de las prótesis convencionales, la impresión 3D ha tomado un papel importante en la fabricación de prótesis, principalmente prototipos o equipos donde se requiere poca fuerza. Al considerarse un campo nuevo se ha convertido en foco de estudio debido a su bajo costo de fabricación en comparación con las tradicionales (Sargo, 2018).

3.2 Situación de la Empresa

El estudio corresponde a un caso práctico aplicado en una microempresa del sector ortoprotésico, ubicada en la ciudad de Puebla. Esta empresa fue fundada en 2018 por dos ingenieros biónicos, quienes desempeñan las funciones administrativas, operativas y de ventas. Durante los años posteriores a su establecimiento, el personal ha observado el crecimiento de su mercado (en sus inicios, la empresa se dedicaba exclusivamente a la fabricación de prótesis para perros). Posteriormente, ampliaron su atención a la rehabilitación de personas, tanto de la ciudad de Puebla como de ciudades cercanas, siendo las prótesis transfemorales las más solicitadas.

Actualmente, la empresa lleva a cabo una valoración clínica de los pacientes cuando acuden por un equipo protésico. En esta valoración se lleva a cabo un análisis completo de sus necesidades motrices, anatómicas y características físicas. Posteriormente, a través de los resultados obtenidos se realiza la selección del tipo de componente que se requiere para cada sección de la prótesis. Una vez definido el tipo de componente requerido se elige un proveedor al cual se le solicitan costos y se incluyen en la cotización que se envía a los pacientes.

Sin embargo, a pesar de contar con años de experiencia, el proceso de selección de los componentes protésicos que formaran parte de la cotización que se muestra a los clientes, se realiza de manera empírica de acuerdo con dos criterios principales: el costo y el tiempo de entrega (en ocasiones se agrega a ellos la percepción que tienen los clientes sobre la marca).

De igual manera, el proceso de selección se considera empírico debido a que no se cuenta con un catálogo establecido de proveedores que muestre las características principales de cada uno en función de los criterios relevantes para la empresa y de los pacientes. Debido a esto, ha resultado imposible hacer uso de una metodología en donde se contemplen los

criterios adecuados, con los cuales se comparen todas las opciones de proveedores y se sustente la decisión.

Cabe mencionar que, para componentes de prótesis transversales se cuenta con siete proveedores, tanto nacionales como internacionales. Los cuales, cuentan con diversos productos que se adaptan a necesidades económicas, cumplen con los estándares de calidad y manejan distintos modelos que se adaptan a los requerimientos físicos y motrices.

3.3 Metodología Propuesta

Para concretar la propuesta requerida por la empresa del caso de estudio se procederá con la siguiente metodología:

- Recolección de datos mediante entrevistas semiestructuradas que se llevarán a cabo a través de reuniones por videoconferencia. Las entrevistas tendrán preguntas abiertas y cerradas, y en caso de ser necesario, se agregarán preguntas que permitan obtener más información de los entrevistados y así generar un mejor diagnóstico (Hernández et al., 2014).
- Se considera dividir las entrevistas, a la directora general y directora de operaciones, en dos fases principales: (a) obtener información y documentación secundaria respecto a los antecedentes de la compañía, los procesos seguidos para formular cotizaciones y procesos de las operaciones, y (b) clasificar, con apoyo de literatura, los criterios de relevancia para la selección de proveedores y datos sobre la experiencia con cada uno de ellos.
- Posteriormente, los datos obtenidos se transcribirán y se procesarán en un software especializado llamado NVivo. Este es un programa que permite organizar información, de investigaciones cualitativas y de métodos mixtos (QSR International, 2014), en donde el texto ingresado se convierte en nodos (unidades de significado) que se organizan por categorías asignadas por el investigador, a través de los cuales se generan matrices y jerarquías que facilitan su análisis (Pulido & Rodríguez, 2014; Valdemoros-San-Emeterio et al., 2011).
- Esta información se utilizará para definir el marco contextual y generar un diagnóstico de la situación actual de la empresa para establecer la base de la propuesta para la selección de proveedores de la empresa en cuestión.

- Para la resolución de la presente problemática, se utilizará la herramienta FAHP y se hará uso del método de Buckley (1985) para estimar la importancia relativa de los criterios y alternativas, tomando como referencia las aportaciones de Ayhan (2013) y Parra-Calderón et al. (2019).

4. PROPUESTA DE MEJORA

Como se mencionó anteriormente, el modelo propuesto para la selección de proveedores dentro de la empresa de estudio corresponde a un Proceso de Análisis Jerárquico Difuso (véase Sección 2.2.2.3). Parra-Calderón et al. (2019) proponen un diagrama de flujo para la resolución de la problemática de selección de proveedores (véase Figura 4.1).

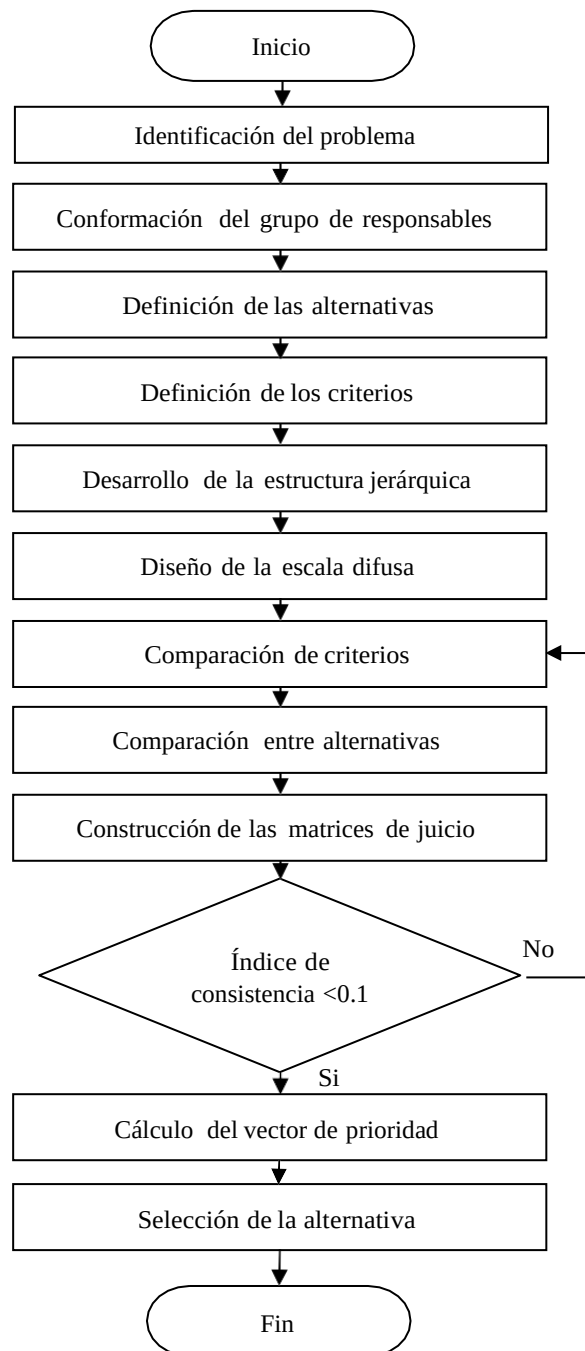


Figura 4.1 Pasos para generar la propuesta de selección de proveedores. Fuente: (Parra-Calderón et al., 2019)

Ahora bien, una vez definida la problemática, se decidió que en el desarrollo se contara con la participación de la directora general y la directora de operaciones de la empresa para determinar los criterios y sub-criterios de relevancia, siendo 14 en total. Al tomar como referencia la literatura de acuerdo con el giro en el que se encuentran y sus requerimientos particulares, se determinó que los tres criterios a considerar son los siguientes Económico (Ec), Servicio (S) y Producción (P). A su vez, cada uno de ellos se compone por diversos sub-criterios que forman parte de la misma categoría. La Figura 4.2 muestra la estructura jerárquica que relaciona estos criterios y sub-criterios con las alternativas de proveedores para su análisis mediante FAHP.

Una vez establecida la jerarquía, se procedió a completar la información del desempeño de cada uno de los proveedores, junto con el personal de la empresa, correspondiente a cada uno de los criterios. En las Tablas 4.1, 4.2 y 4.3 se muestra la valoración otorgada por la dirección de la organización a todos los aspectos que forman parte del presente trabajo. Se tomó en consideración una escala del 1 al 10, siendo 1 la menor calificación posible y 10 la máxima a obtener; además, se obtuvo una descripción que explica la causa del valor otorgado. Cabe mencionar que, el criterio de costo se completó con una comparativa entre los costos de los componentes prótesis de miembro inferior (rodilla monocéntrica y policéntrica) con la finalidad de sustentar la descripción proporcionada por el personal de la empresa de estudio, la cual se muestra en la Tabla 4.4.

Figura 4.2 Estructura jerárquica propuesta. Fuente: Elaboración propia

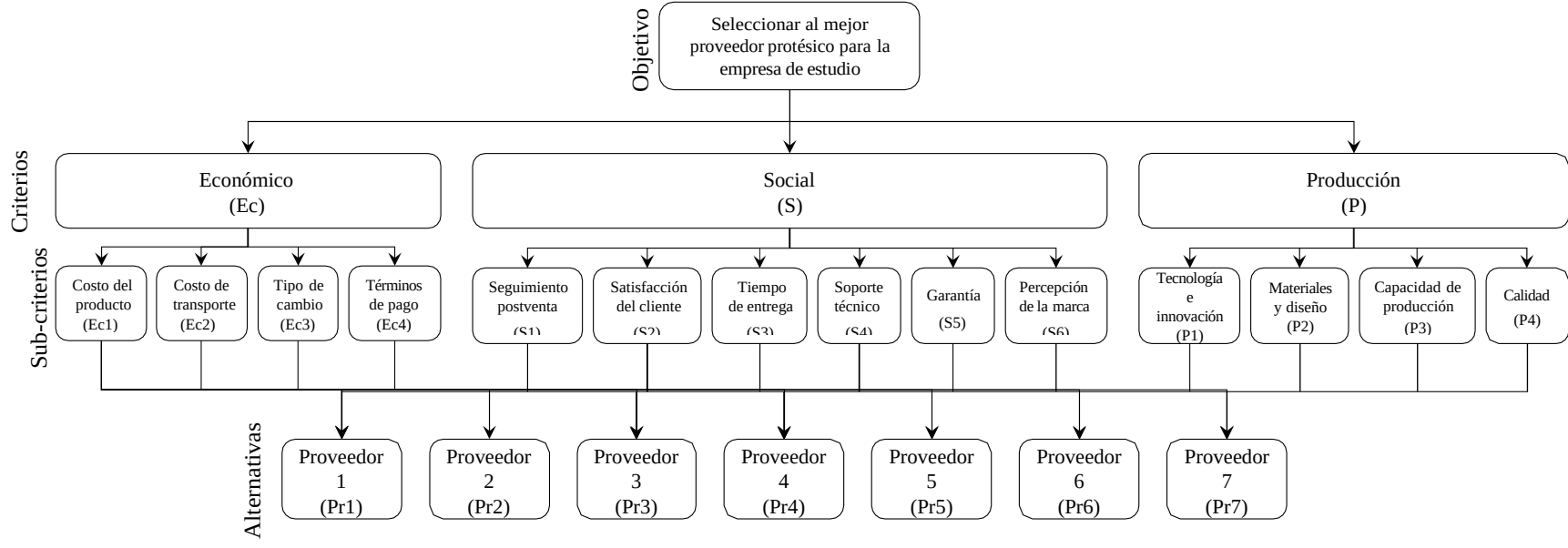


Tabla 4.1 Información de los proveedores: Criterio Económico (Ec). Fuente: Elaboración propia (2021).

Subcriterio	Proveedor 1 (Pr1)	Proveedor 2 (Pr2)	Proveedor 3 (Pr3)	Proveedor 4 (Pr4)	Proveedor 5 (Pr5)	Proveedor 6 (Pr6)	Proveedor 7 (Pr7)
	6	8	8	7	6	6	2
Costo del producto (Ec1)	Sus costos corresponden a una relación calidad-precio, su costo es accesible para un paciente clase media	Sus costos corresponden a una relación calidad-precio, su costo es accesible para un paciente clase media	Sus costos corresponden a una relación calidad-precio, su costo es accesible para un paciente clase media	Sus costos corresponden a una relación calidad-precio, su costo es accesible para un paciente clase media	Sus costos corresponden a una relación calidad-precio, su costo es accesible para un paciente clase media	Sus costos corresponden a una relación calidad-precio, su costo es accesible para un paciente clase media	Precios accesibles para paciente clase baja
	5	7	7	7	5	5	6
Costo de transporte (Ec2)	El envío es nacional, garantizan la seguridad de transporte y el tiempo de entrega es corto	El envío es nacional, pero del norte del país, garantizan la seguridad de transporte	El envío es internacional, garantizan la seguridad de transporte	El envío es internacional, garantizan la seguridad de transporte	El envío es nacional, garantizan la seguridad de transporte y el tiempo de entrega es corto	El envío es nacional, garantizan la seguridad de transporte y el tiempo de entrega es corto	El envío es nacional, NO garantizan la seguridad de transporte
	1	5	5	5	1	1	1
Tipo de cambio (Ec3)	Es en moneda Nacional Mexicana	El precio es en dls + envío	El precio es en dls + envío	El precio es en dls + envío	Es en moneda Nacional Mexicana	Es en moneda Nacional Mexicana	Es en moneda Nacional Mexicana
	8	8	8	9	8	8	7
Términos de pago (Ec4)	El pago se realiza previo al envío	El pago se realiza previo al envío	El pago se realiza previo al envío	El pago se realiza previo al envío y el tiempo de respuesta del comprobante de pago se demora	El pago se realiza previo al envío	El pago se realiza previo al envío	El pago se realiza previo al envío, contestan a los minutos

Tabla 4.2 Información de los proveedores: Criterio Servicio. Fuente: Elaboración propia (2021).

Subcriterio	Proveedor 1 (Pr1)	Proveedor 2 (Pr2)	Proveedor 3 (Pr3)	Proveedor 4 (Pr4)	Proveedor 5 (Pr5)	Proveedor 6 (Pr6)	Proveedor 7 (Pr7)
Seguimiento postventa (S1)	10 Si le dan un completo seguimiento	10 Si le dan un completo seguimiento	10 Si le dan un completo seguimiento	9 Si le dan un completo seguimiento	9 Si le dan un completo seguimiento	9 Si le dan un completo seguimiento	5 El seguimiento postventa es deficiente
Satisfacción del cliente (S2)	10 por ser una marca líder el paciente la reconoce	10 por ser una marca líder el paciente la reconoce	10 el paciente está conforme por su estética y por ser una marca alemana	8 El paciente queda suficientemente satisfecho	8 El paciente queda suficientemente satisfecho	8 El paciente queda suficientemente satisfecho	8 El paciente queda suficientemente satisfecho
Tiempo de entrega (S3)	10 tiempo de entrega corto	8 tiempo de entrega corto	8 tiempo de entrega corto	8 tiempo de entrega corto	8 tiempo de entrega corto	8 tiempo de entrega corto	10 tiempo de entrega corto
Soporte técnico (S4)	10 Porque son fabricantes tienen la apertura a soporte técnico	10 Porque son fabricantes tienen la apertura a soporte técnico	10 Porque son fabricantes tienen la apertura a soporte técnico	8 son proveedores	10 Porque son fabricantes tienen la apertura a soporte técnico	8 son proveedores	8 son proveedores
Garantía (S5)	9 Garantía de uso por fabricante	9 Garantía de uso por fabricante	9 Garantía de uso por fabricante	5 Garantía como proveedor	9 Garantía de uso por fabricante	5 Garantía como proveedor	4 Garantía como proveedor
Percepción de marca (S6)	10 solicitan la marca	10 solicitan la marca	9 no la reconocen, pero confían por ser alemana	8 no la reconocen	8 no la reconocen	7 no reconocen la marca	6 no reconocen la marca

Tabla 4.3 Información de los proveedores: Criterio Producción. Fuente: Elaboración propia (2021).

Subcriterio	Proveedor 1 (Pr1)	Proveedor 2 (Pr2)	Proveedor 3 (Pr3)	Proveedor 4 (Pr4)	Proveedor 5 (Pr5)	Proveedor 6 (Pr6)	Proveedor 7 (Pr7)
Tecnología e innovación (P1)	10 Sus dispositivos son patentes	10 Sus dispositivos son patentes	9 Sus dispositivos son una ventaja de la ingeniería	8 Buen producto	7 Buen producto	7 Buen producto	7 Buen producto
Materiales y diseño (P2)	10	10	9	8	7	7	7 Buen producto
Capacidad de producción (P3)	10 Su distribución en México es amplia	8 Son nuevos en México	7 Su stock en México no es conocido	9 tienen disposición de producto	9 tienen disposición de producto	9 tienen disposición de producto	9 tienen disposición de producto
Calidad (P4)	10	10	9	9	9	9	8

Tabla 4.4 Valoración de los subcriterios, otorgada por el personal de la empresa. Fuente: Elaboración propia (2021)

Criterio	Subcriterio	Nivel de importancia (escala 1 a 10)
Económico (Ec)	Costo del producto (Ec1)	8
	Costo de transporte (Ec2)	6
	Tipo de cambio (Ec3)	3
	Términos de pago (Ec4)	4
Servicio (S)	Seguimiento post-venta (S1)	9
	Satisfacción del cliente (S2)	10
	Tiempo de entrega (S3)	9
	Soporte técnico (S4)	8
	Garantía (S5)	7
	Percepción de marca (S6)	7
Producción (P)	Tecnología e innovación (P1)	5
	Materiales y diseño (P2)	10
	Capacidad de producción (P3)	8
	Calidad (P4)	10

De manera simultánea, se procedió con la construcción del sistema matricial que conformarán el modelo AHP con enfoque difuso (FAHP), con el que se dará solución a la problemática de la empresa de estudio. Basados en la Figura 4.2, la distribución de las matrices se realizó de la siguiente manera:

- Matriz nivel uno: comparación entre criterios generales (Ec, S, P)
- Matriz nivel dos: comparación entre sub-criterios económicos (Ec1, Ec2, Ec3, Ec4).
- Matriz nivel dos: comparación entre sub-criterios de servicio (S1, S2, S3, S4, S5, S6).
- Matriz nivel dos: comparación entre sub-criterios de producción (P1, P2, P3, P4).
- Matriz nivel tres: comparación entre proveedores (Pr1, Pr2, Pr3, Pr4, Pr5, Pr6, Pr7) para cada sub-criterio.

Como se comentó, el sistema se compone por tres niveles de matrices utilizando escala difusa, en donde se realizaron las comparativas correspondientes y se procedió con los cálculos requeridos para obtener los pesos normalizados de dicha escala. Para ello, se tomó

como referencia el método de Buckley (1985) para estimar la importancia relativa de los criterios y alternativas. De igual manera, se tomaron en cuenta las aportaciones de Ayhan (2013) y Parra-Calderón et al. (2019).

4.1 Construcción de las Matrices de Comparación

En primer lugar, se deben realizar los juicios de comparación difusa, otorgados por el personal de la empresa en base a su experiencia previa a través de las diversas entrevistas generadas. Mediante la Tabla 2.4 (véase Sección 2.2.2.3) se realizó la equivalencia de la escala de Saaty con el número triangular difuso correspondiente. Cabe mencionar que los números triangulares (1,1,2), (2,3,4), (4,5,6), (6,7,8) y (8,9,10) se utilizan para representar los juicios desde igual hasta extremadamente preferido o importante, mientras que (1,2,3), (3,4,5), (5,6,7) y (7,8,9) hacen referencia a los valores intermedios.

Las comparaciones se realizaron de la siguiente manera: si al evaluar se determina que el criterio Económico (Ec) es moderadamente más importante que el criterio Servicio (S), se utiliza el juicio (2,3,4). Sin embargo, al momento de evaluar el criterio Servicio (S) contra el Económico (Ec) se utiliza el número triangular difuso recíproco ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$), que corresponde a la proporción inversa de la comparativa anterior, conforme a lo establecido por la metodología FAHP.

La Tabla 4.5 muestra un ejemplo de la matriz de primer nivel correspondiente a la comparativa entre criterios. En contraste, la Tabla 4.6 muestra un ejemplo de la matriz de segundo nivel correspondiente a la comparativa entre sub-criterios (en este caso, el Económico), y la Tabla 4.7 muestra un ejemplo de la matriz comparativa de tercer nivel correspondiente a la comparativa entre proveedores (alternativas) para cada sub-criterio.

Tabla 4.5 Matriz de primer nivel. Fuente: Elaboración propia (2021)

Seleccionar al mejor proveedor para la empresa de estudio	Económico (Ec)	Servicio (S)	Producción (P)
Económico (Ec)	(1, 1, 1)	Comparación entre los criterios Ec y S	Comparación entre los criterios Ec y S
Servicio (S)	Inverso de la comparación entre los criterios Ec y S	(1, 1, 1)	Comparación entre los criterios S y P
Producción (P)	Inverso de la comparación entre los criterios P y Ec	Inverso de la comparación entre los criterios P y S	(1, 1, 1)

Tabla 4.6 Matriz de segundo nivel. Fuente: Elaboración propia (2021)

	Ec ₁	Ec ₂	Ec ₃	Ec ₄
Ec ₁	(1, 1, 1)	Comparación entre los criterios Ec ₁ y Ec ₂	Comparación entre los criterios Ec ₁ y Ec ₃	Comparación entre los criterios Ec ₁ y Ec ₄
Ec ₂	Inverso de la comparación entre los criterios Ec ₁ y Ec ₂	(1, 1, 1)	Comparación entre los criterios Ec ₂ y Ec ₃	Comparación entre los criterios Ec ₂ y Ec ₄
Ec ₃	Inverso de la comparación entre los criterios Ec ₁ y Ec ₃	Inverso de la comparación entre los criterios Ec ₂ y Ec ₃	(1, 1, 1)	Comparación entre los criterios Ec ₃ y Ec ₄
Ec ₄	Inverso de la comparación entre los criterios Ec ₁ y Ec ₄	Inverso de la comparación entre los criterios Ec ₂ y Ec ₄	Inverso de la comparación entre los criterios Ec ₃ y Ec ₄	(1, 1, 1)

Tabla 4.7 Matriz de tercer nivel. Fuente: Elaboración propia (2021)

	Pr ₁	Pr ₂	Pr ₃	Pr ₄
Pr ₁	(1, 1, 1)	Comparación entre los criterios Pr ₁ y Pr ₂	Comparación entre los criterios Pr ₁ y Pr ₃	Comparación entre los criterios Pr ₁ y Pr ₄
Pr ₂	Inverso de la comparación entre los criterios Pr ₁ y Pr ₂	(1, 1, 1)	Comparación entre los criterios Pr ₂ y Pr ₃	Comparación entre los criterios Pr ₂ y Pr ₄
Pr ₃	Inverso de la comparación entre los criterios Pr ₁ y Pr ₃	Inverso de la comparación entre los criterios Pr ₂ y Pr ₃	(1, 1, 1)	Comparación entre los criterios Pr ₃ y Pr ₄
Pr ₄	Inverso de la comparación entre los criterios Pr ₁ y Pr ₄	Inverso de la comparación entre los criterios Pr ₂ y Pr ₄	Inverso de la comparación entre los criterios Pr ₃ y Pr ₄	(1, 1, 1)

4.2 Índice de Consistencia

El siguiente paso consistió en calcular el índice de consistencia el cual tiene el objetivo de valorar que no existan inconsistencias en los juicios de cada una de las matrices que conforman el modelo. Para lograr tal fin, se debe realizar la transformación de los juicios difusos, formados por $T = (l, m, u)$ en números reales, con los que se lleva a cabo el cálculo del índice mediante la ecuación 4.1 (Parra-Calderón et al., 2019).

$$M_{real} = \frac{(4m+l+u)}{6} \quad (4.1)$$

Así, al convertir la matriz en una de números reales, el índice de consistencia se obtiene siguiendo la misma metodología que se lleva a cabo en el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) tradicional. Esto mediante el producto de la matriz de comparaciones y el vector de prioridades, para así, obtener un nuevo vector de columnas. Posteriormente, se deben llevar a cabo divisiones entre el primer componente del nuevo vector de columnas y el primer componente del vector de prioridades, el segundo componente del nuevo vector de columnas y el segundo componente del vector de prioridades, y así sucesivamente. Por último, se aproxima λ_{max} mediante sumatoria de los resultados y su media. El índice de consistencia (IC) se calcula mediante la ecuación 4.2, en donde n hace referencia al número de alternativas. Entonces, se obtiene la proporción de la relación que existe entre el índice aleatorio (RI) y el índice de consistencia, cuyo valor se conoce como Radio o Razón de Consistencia (RC), el cual se determina mediante la ecuación 4.3.

$$IC = \frac{\lambda_{max}-n}{(n-1)} \quad (4.2)$$

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (4.3)$$

En la Tabla 4.8 se muestra el valor de RI que corresponde a cada matriz por nivel. Para que la comparación de matrices se considere consistente, el valor de RC debe ser igual o inferior a 0.1; por lo que, si el RC es superior a 0.1 se considera que los juicios se ubican cerca de la aleatoriedad y no son fiables; por ende, la comparación debe repetirse (Coyle, 2004; Raharjo & Endah, 2006).

Tabla 4.8 Índice Aleatorio (Random Index, RI). Fuente: (Raharjo & Endah, 2006)

Matrix order	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.9	0.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

4.3 Solución de Matrices Mediante el Método de Buckley

Posteriormente, siguiendo el método de Buckley, se obtienen los valores de comparación difusa, los cuales son necesarios para realizar una comparación entre los elementos que conforman a las matrices. Esto se lleva a cabo mediante la media geométrica de los valores difusos como se define en la ecuación 4.4.

$$\hat{r}_i = \left(\sum_{k=1}^n \hat{d}_{ik}^{\frac{1}{n}} \right)^n \quad (4.4)$$

Una vez obtenidos los valores de comparación para cada uno de los elementos de la matriz, se llevó a cabo la sumatoria de los valores de comparación de los números triangulares y posteriormente se obtuvo su inverso.

El siguiente paso consistió en calcular el peso difuso relativo de cada elemento. Para ello, se obtuvo el producto de su respectivo valor de comparación difuso por el inverso del total obtenido. Esto se realizó mediante la ecuación 4.5.

$$\hat{w}_i = \hat{r}_i * (\hat{r}_1 + \hat{r}_2 + \dots + \hat{r}_n)^{-1} = (l_w, m_w, u_w)_i \quad (4.5)$$

El siguiente paso consistió en generar el vector de prioridad, para lo cual se obtuvo en primer lugar el promedio de los pesos difusos relativos mediante la ecuación 4.6 y posteriormente se normalizó el promedio obtenido a través de la ecuación 4.7.

$$M_i = \frac{l_{w_i} + m_{w_i} + u_{w_i}}{3} \quad (4.6)$$

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (4.7)$$

El último paso de la metodología corresponde a calcular la mejor alternativa mediante la multiplicación de cada uno de los vectores de prioridad obtenidos de las matrices de los diversos niveles que conforman el modelo. Para lo cual, se siguió el siguiente orden; se comenzó por los niveles de juicio más bajo y se continuó hacia los vectores de un nivel superior y así sucesivamente hasta llegar al nivel mayor, por medio del cual se obtuvo la opción con el peso mayor y, por consiguiente, se determinó el proveedor que representa una mayor afinidad con los criterios considerados por la empresa de estudio.

5. RESULTADOS

Los principales resultados obtenidos de aplicar el modelo FAHP se muestran a continuación. En la Tabla 5.1 se presenta el resumen de los pesos normalizados, resultante del análisis de los criterios del primer nivel. Mientras que, en la Figura 5.1, se muestra gráficamente la distribución de los pesos de los tres criterios relevantes para la empresa. Se determinó que, el criterio económico cuenta con mayor relevancia para la elección del proveedor, representando el 64% de la composición total; mientras que, el criterio que abarca a las condiciones de producción de los componentes se encuentra en el nivel inferior, contando únicamente con el 14% de la composición.

Tabla 5.1 Pesos no difusos normalizados de los criterios. Primer nivel de la jerarquía.

Fuente: Elaboración propia	
	Peso normalizado
Económico	0.638
Servicio	0.222
Producción	0.139

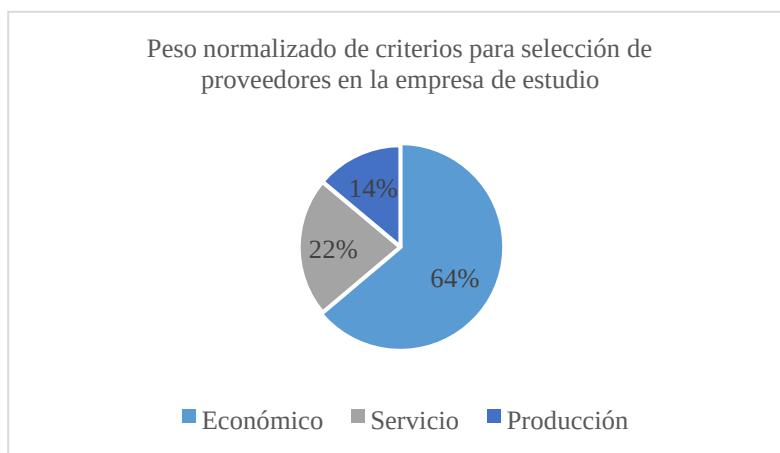


Figura 5.1 Representación gráfica de los pesos no difusos normalizados de los criterios.

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, en la Tabla 5.2, Tabla 5.3 y Tabla 5.4 se muestran los pesos obtenidos para cada subcriterio que conforman el segundo nivel de la jerarquía del modelo propuesto. En donde, se aprecia que: dentro de la Tabla 5.2 el nivel de importancia lo encabeza el costo del producto y el de menor relevancia es el tipo de cambio que maneja cada proveedor.

Tabla 5.2 Pesos normalizados de los subcriterios económicos. Segundo nivel de la jerarquía. Fuente: Elaboración propia

Criterio	Subcriterio	Peso normalizado
Económico (Ec1)	Costo del producto (Ec1)	0.587
	Costo de transporte (Ec2)	0.203
	Tipo de cambio (Ec3)	0.078
	Términos de pago (Ec4)	0.132

En la Tabla 5.3 se observa que la satisfacción del cliente es el factor de mayor importancia, mientras que en los últimos lugares de esta categoría se encuentran la garantía ofrecida por los proveedores y la percepción de la marca, ambos con un peso inferior al resto de los criterios con los que se realizó la comparación.

Tabla 5.3 Pesos normalizados de los subcriterios de servicio. Segundo nivel de la jerarquía. Fuente: Elaboración propia

Criterio	Subcriterio	Peso normalizado
Servicio (S)	Seguimiento postventa (S1)	0.200
	Satisfacción del cliente (S2)	0.304
	Tiempo de entrega (S3)	0.200
	Soporte técnico (S4)	0.132
	Garantía (S5)	0.082
	Percepción de marca (S6)	0.082

Asimismo, en la Tabla 5.4 se muestra que el subcriterio de mayor relevancia dentro del criterio de producción corresponde al de tecnología e innovación y en el nivel de menor importancia se encuentra la capacidad de producción con la que cuentan los proveedores de los componentes.

Tabla 5.4 Pesos normalizados de los subcriterios de producción. Segundo nivel de la jerarquía. Fuente: Elaboración propia

Criterio	Subcriterio	Peso normalizado
Producción (P)	Tecnología e innovación (P1)	0.095
	Materiales y diseño (P2)	0.262
	Capacidad de producción (P3)	0.095
	Calidad (P4)	0.548

En la Tabla 5.5 se muestran los pesos normalizados, resultantes de las comparaciones de cada proveedor contra cada uno de los diversos subcriterios. Por último, en la Tabla 5.6 que muestra el resultado obtenido de la multiplicación de cada uno de los vectores de prioridad obtenidos de las matrices de los diversos niveles que conforman el modelo. Se observa que las mejores alternativas corresponden; en primer lugar, el proveedor 2 y en segundo lugar, el proveedor 3.

Tabla 5.5 Pesos relativos no difusos normalizados de cada alternativa para cada criterio y subcriterio. Tercer nivel de la jerarquía. Fuente: Elaboración propia

Proveedor 1	0.14
Proveedor 2	0.24
Proveedor 3	0.23
Proveedor 4	0.16
Proveedor 5	0.09
Proveedor 6	0.08
Proveedor 7	0.05

Tabla 5.6 Pesos relativos no difusos normalizados de cada alternativa para cada criterio y subcriterio. Tercer nivel de la jerarquía. Fuente: Elaboración propia

	Ec1	Ec2	Ec3	Ec4	S1	S2	S3	S4	S5	S6	P1	P2	P3	P4
Proveedor 1	0.096	5E-08	0.054	0.123	0.458	0.194	0.272	0.207	0.173	0.227	0.279	0.279	0.274	0.223
Proveedor 2	0.261	0.412	0.266	0.123	0.161	0.194	0.091	0.174	0.183	0.171	0.279	0.279	0.091	0.223
Proveedor 3	0.258	0.412	0.266	0.123	0.112	0.194	0.091	0.174	0.183	0.136	0.171	0.171	0.052	0.120
Proveedor 4	0.167	0.174	0.242	0.123	0.072	0.104	0.091	0.092	0.098	0.144	0.105	0.105	0.146	0.120
Proveedor 5	0.104	1E-10	0.068	0.123	0.075	0.104	0.091	0.169	0.173	0.144	0.055	0.055	0.146	0.120
Proveedor 6	0.088	1E-10	0.057	0.123	0.078	0.104	0.091	0.091	0.110	0.085	0.055	0.055	0.146	0.120
Proveedor 7	0.026	0.001	0.048	0.050	0.042	0.104	0.272	0.091	0.080	0.092	0.055	0.055	0.146	0.074

6. CONCLUSIONES

Con relación a lo expuesto, se determina que el mejor proveedor para la empresa de estudio es el Proveedor 2, como se observa en la Tabla 5.5. Sin embargo, el Proveedor 3 obtuvo una valoración cercana a la alternativa mencionada, con una variación de -0.01; por lo que, de la misma manera se recomienda como una de las opciones principales para la adquisición de los componentes necesarios de la empresa.

Al considerar dichas alternativas como las preferentes, no se pretende eliminar a los proveedores que obtuvieron una valoración inferior. Ya que, todas las alternativas cumplen con los estándares de calidad que se requieren en el rubro ortoprotésico; sin embargo, no se adaptan completamente a las necesidades de la empresa.

Como se mencionó anteriormente en la revisión de literatura y que se confirmó en los resultados obtenidos mediante el modelo diseñado de FAHP, expuesto en la Tabla 5.1, el criterio de mayor peso durante la decisión es el factor económico. Por lo que, si se consideran como alternativas principales a los proveedores mencionados se vuelve factible brindar el servicio a un mayor rango de mercado, al contar con equipos que se adaptan a diferentes presupuestos.

Ahora bien, el criterio económico se conforma por cuatro subcriterios. En la Figura 6.1 se muestra que el de mayor relevancia corresponde al costo neto del componente, con un valor del 59%, seguido por el criterio de costo de transporte, este valor es fundamental ya que parte de sus proveedores se encuentran fuera de la ciudad de Puebla, por lo cual dicho factor es fundamental al momento de determinar el precio final del producto que se brinda a los pacientes.

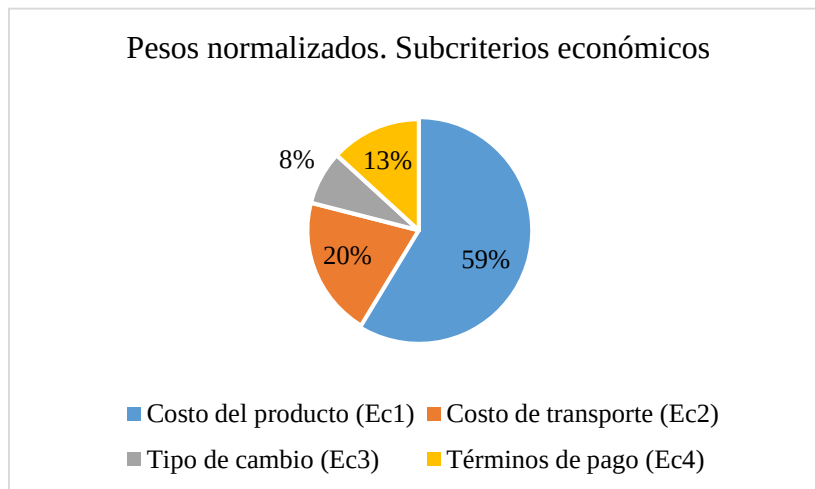


Figura 6.1 Representación gráfica de los pesos no difusos normalizados de los subcriterios económicos. Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, el criterio de servicio se considera de relevancia debido al giro de la empresa; al pertenecer al sector médico y tratar con pacientes con limitaciones físicas, la calidad del servicio brindado es considerado un factor fundamental para el éxito de la empresa. Eso incluye a los distintos elementos que forman parte de la cadena de suministro.

Lo anterior se confirma con los resultados expuestos en la Tabla 5.3 y que se resumen en la Figura 6.2; donde se observa que, el subcriterio con mayor valoración es la satisfacción de los clientes, seguido por el seguimiento posventa y el tiempo de entrega. Cabe mencionar que, al inicio del estudio, durante la entrevista con el personal de la empresa se hacía mención de que la percepción de la marca era relevante para algunos de sus pacientes; sin embargo, en el estudio se demuestra que en este caso es un factor que no representa un mayor impacto en la decisión.

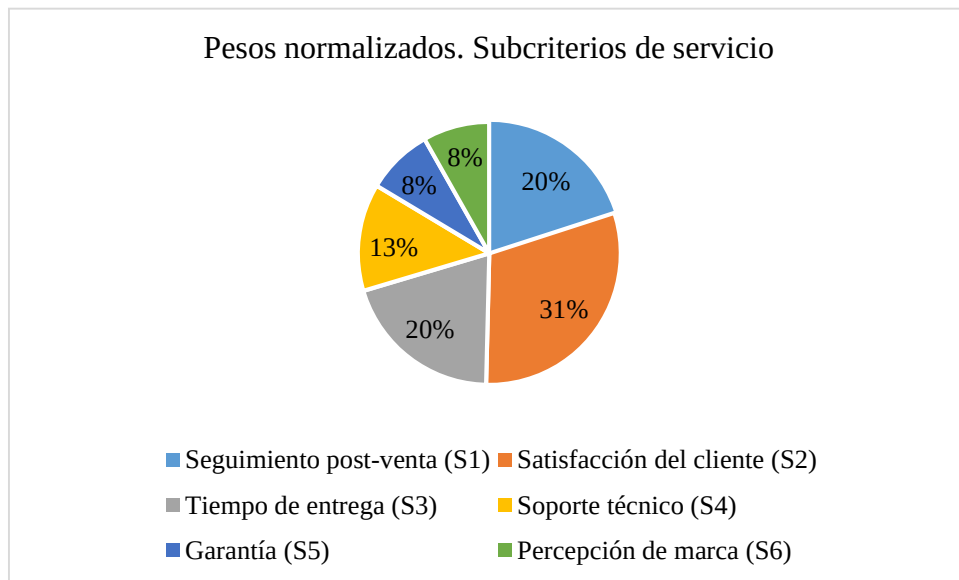


Figura 6.2 Representación gráfica de los pesos no difusos normalizados de los subcriterios de servicio. Fuente: Elaboración propia

Otro aspecto que considerar es el criterio de producción (Figura 6.3). Si bien es cierto que en el análisis resultó ser el de menor relevancia, contiene subcriterios cruciales al momento de realizar la selección; tal es el caso de la calidad de los productos, el cual es el elemento de mayor valoración dentro de dicho grupo y que se encuentra estrechamente relacionado con los materiales y el diseño del componente; los cuales, se requiere que cuenten con especificaciones que aseguren la durabilidad del producto y con ello la satisfacción de los pacientes.

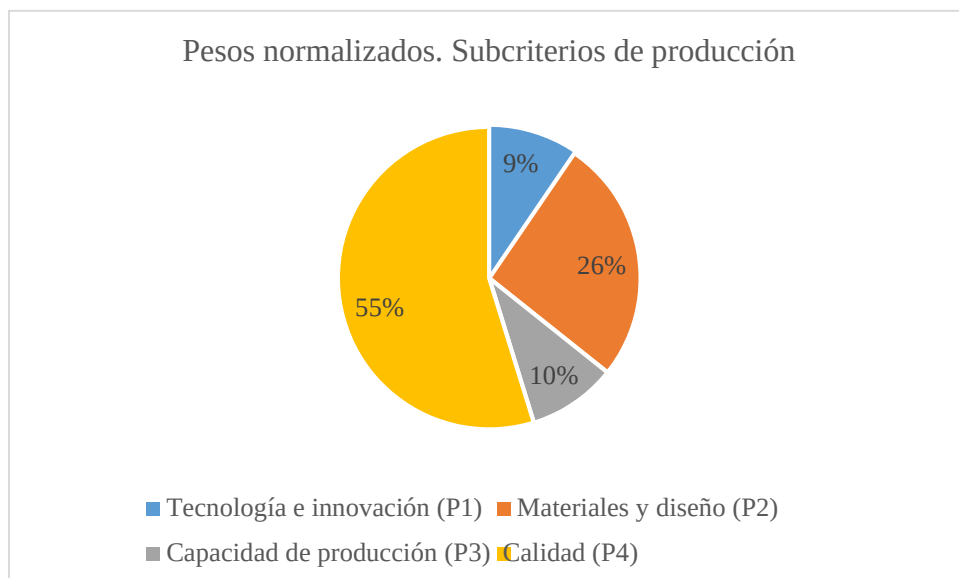


Figura 6.3 Representación gráfica de los pesos no difusos normalizados de los subcriterios de producción. Fuente: Elaboración propia

Por último, cabe mencionar que determinar a los mejores proveedores que se adaptan a los requerimientos de la empresa es fundamental para su crecimiento y desarrollo. Lo cual, se considera vital al formar parte de un sector que se encuentra en crecimiento dentro del país, con una creciente demanda y que pertenece a un tipo de industria de la que aún no se cuenta con suficiente información sobre la forma de gestión.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdallah, A. B., Abdullah, M. I., & Mahmoud Saleh, F. I. (2017). The effect of trust with suppliers on hospital supply chain performance: The mediating role of supplier integration. *Benchmarking*, 24(3), 694–715. <https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2016-0062>
- Abdel-Baset, M., Chang, V., Gamal, A., & Smarandache, F. (2019). An integrated neutrosophic ANP and VIKOR method for achieving sustainable supplier selection: A case study in importing field. *Computers in Industry*, 106, 94–110. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.12.017>
- Al Muderis, M., Ridgewell, E., & APC Prosthetics. (2016). *Bionic limbs - Curious*. Australian Academy of Science. <https://www.science.org.au/curious/people-medicine/bionic-limbs>
- Alonso, A., Quinteros, M., Escudero, L., Guignard, M., & Weintraub, A. (2006). Una aplicación de programación estocástica en un problema de gestión forestal. *Revista Ingeniería de Sistemas*, 20, 67–95.
- Aman, M., Sporer, M. E., Gstoettner, C., Prahm, C., Hofer, C., Mayr, W., Farina, D., & Aszmann, O. C. (2019). Bionic hand as artificial organ: Current status and future perspectives. *Artificial Organs*, 43(2), 109–118. <https://doi.org/10.1111/aor.13422>
- Aparicio Baeza, J. (2007). Una introducción al análisis envolvente de datos. *Boletín de Estadística e Investigación Operativa. BEIO*, 23(1), 12–17.
- Asadabadi, M. R. (2017). A customer based supplier selection process that combines quality function deployment, the analytic network process and a Markov chain. *European Journal of Operational Research*, 263(3), 1049–1062. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.06.006>
- Ávila, P., Mota, A., Pires, A., Bastos, J., Putnik, G., & Teixeira, J. (2012). Supplier's Selection Model based on an Empirical Study. *Procedia Technology*, 5, 625–634. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.09.069>
- Awasthi, A., Govindan, K., & Gold, S. (2018). Multi-tier sustainable global supplier selection using a fuzzy AHP-VIKOR based approach. *International Journal of Production Economics*, 195, 106–117. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.10.013>
- Ayhan, M. B. (2013). A Fuzzy AHP Approach For Supplier Selection Problem: A Case Study In A Gearmotor Company. *International Journal of Managing Value and Supply Chains*, 4(3), 11–23. <https://doi.org/10.5121/ijmvsc.2013.4302>
- Banaeian, N., Mobli, H., Fahimnia, B., Nielsen, I. E., & Omid, M. (2018). Green supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the agri-food industry. *Computers and Operations Research*, 89, 337–347. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.02.015>
- Batson, R. G. (2008). Trends in supplier quality management. *IIE Annual Conference and Expo 2008*, 667–672.
- Batson, R. G. (2018). Supplier Management in Service Industry : What can be Learned Automotive Manufacturing ? Supplier from Management in Service Industry : What can be Learned from Automotive Manufacturing ? In *Contemporary Issues and Research in Operations Management* (pp. 11–28). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.73289>
- Beşkese, A., & Evecen, C. (2012). SUPPLIER SELECTION IN HEALTHCARE SECTOR. *Trends in the Development of Machinery*, 16(1), 91–94.

- <http://www.tmt.unze.ba/zbornik/TMT2012Journal/18.pdf>
- Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), 233–247. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(85\)90090-9](https://doi.org/10.1016/0165-0114(85)90090-9)
- Bustince, H., Fernandez, J., & Induráin, E. (2018). Introduction to Special Issue: New Trends in Fuzzy Set Theory and Related Items. *Axioms*, 7(2), 37. <https://doi.org/10.3390/axioms7020037>
- Byun, D. H., Chang, R. S., Park, M. B., Son, H. R., & Kim, C. B. (2021). Prioritizing community-based intervention programs for improving treatment compliance of patients with chronic diseases: Applying an analytic hierarchy process. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 1–20. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020455>
- Camargo, E., Luengas, L., & Balaguera, M. (2012). Respuesta a carga de una prótesis transtibial con elementos infinitos durante el apoyo y balanceo Response to Transtibial Prosthesis Load with Finite Elements during Stance and Swing Resumen Palabras clave : Key words : *Visión Electronica*, 2, 82–92.
- Carretero Jacinto, I. (2016). *Fabricación, validación y rediseño de un socket autoajustable a nivel transfemoral* [UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO]. ManualdePracticaspараelLaboratoriodeQuimicaOrganica1
- Çebi, F., & Bayraktar, D. (2003). An integrated approach for supplier selection. *Logistics Information Management*, 16(6), 395–400. <https://doi.org/10.1108/09576050310503376>
- Cengiz, A. E., Aytekin, O., Ozdemir, I., Kusan, H., & Cabuk, A. (2017). A Multi-criteria Decision Model for Construction Material Supplier Selection. *Procedia Engineering*, 196(January), 294–301. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.202>
- Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649–655. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)
- Che, Z. H., & Chang, Y. F. (2016). Integrated methodology for supplier selection: the case of a sphygmomanometer manufacturer in Taiwan. *Journal of Business Economics and Management*, 17(1), 17–34. <https://doi.org/10.3846/16111699.2015.1031823>
- Che, Z. H., Chiang, T. A., Wang, H. S., & Chang, Y. F. (2011). Development and application of an integrated multi-objective methodology for supplier selection. *International Journal of Physical Sciences*, 6(25), 5951–5960. <https://doi.org/10.5897/IJPS11.732>
- Chen, Y. J. (2011). Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. *Information Sciences*, 181(9), 1651–1670. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.07.026>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). Understanding the Supply Chain. In *Supply chain management: strategy, planning, and operation* (Fifth, pp. 441–444). PEARSON.
- Chowdhury, P., & Paul, S. K. (2020). Applications of MCDM methods in research on corporate sustainability: A systematic literature review. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 31(2), 385–405. <https://doi.org/10.1108/MEQ-12-2019-0284>
- Clarke, L., Dillon, M. P., & Shiell, A. (2020). A systematic review of health economic evaluations in orthotics and prosthetics: Part 1 – prosthetics. *Prosthetics and Orthotics International*. <https://doi.org/10.1177/0309364620935310>
- CONEVAL. (2020). *Informe de Evaluación de la Política de Desarrollo Social*. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/Documents/Informes/IEPDS_2020.pdf

- Cornell University, INSEAD, & WIPO. (2021). Global innovation index 2020: who will finance innovations. In *Law and innovations* (Issue 13). [https://doi.org/10.37772/2518-1718-2021-1\(33\)-1](https://doi.org/10.37772/2518-1718-2021-1(33)-1)
- Coyle, G. (2004). the Analytic Hierarchy Process (Ahp) Introduction. *Pearson Education*, 1980, 11.
- Davoudabadi, R., Mousavi, S. M., & Sharifi, E. (2020). An integrated weighting and ranking model based on entropy, DEA and PCA considering two aggregation approaches for resilient supplier selection problem. *Journal of Computational Science*, 40, 101074. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2019.101074>
- De Carvalho, F. S. J. (2018). *Programación estocástica. Aplicación a la gestión de activos y pasivos*. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.
- De la Cruz Gallegos, J. L. (2019). La responsabilidad de contar con una política industrial integral. In A. Oropeza García (Ed.), *DESARROLLO INDUSTRIAL 2050. HACIA UNA INDUSTRIA DEL FUTURO* (pp. 53–71). Instituto para el Desarrollo Industrial y el Crecimiento Económico , A.C.
- Dickson, G. W. (1966). An Analysis Of Vendor Selection Systems And Decisions. *Journal of Purchasing*, 2(1), 5–17. <https://doi.org/10.1111/j.1745-493x.1966.tb00818.x>
- Dobos, I., & Vörösmarty, G. (2019). Inventory-related costs in green supplier selection problems with Data Envelopment Analysis (DEA). *International Journal of Production Economics*, 209, 374–380. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.03.022>
- Dohmen, P. J. G., & van Raaij, E. M. (2019). A new approach to preferred provider selection in health care. *Health Policy*, 123(3), 300–305. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2018.09.007>
- Ekhtiari, M., Zandieh, M., Alem-Tabriz, A., & Rabieh, M. (2018). *A Nadir Compromise Programming for Supplier Selection Problem under Uncertainty. 1*.
- El Mokadem, M. (2017). The classification of supplier selection criteria with respect to lean or agile manufacturing strategies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(2), 232–249. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2016-0050>
- Fallon Jr., PhD, L. F. (2020). Amputation. In *Magill's Medical Guide (Online Edition)*. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ers&AN=87690431&site=eds-live>
- FID. (2019). *ATLAS DE LA DIABETES DE LA FID 9NA. EDICIÓN*.
- Font Jimenez, I., Llauredó Serra, M., Pallarés-Martí, À., & García-Hedrerá, F. (2016). Factores psicosociales implicados en la amputación. Revisión sistemática de la literatura TT - Psycho-social factors involved in amputation. Systematic review of the literature. *ELSEVIER*, 48(3), 207–209. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2015.04.009>
- Franco, L. A., & Montibeller, G. (2011). Problem Structuring for Multicriteria Decision Analysis Interventions. In *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470400531.eorms0683>
- Fu, Y., Wu, C., & Liao, C. (2021). Selection of In-Flight Duty-Free Product Suppliers Using a Combination Fuzzy AHP , Fuzzy ARAS , and MSGP Methods. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8545379>
- Galankashi, M. R., Helmi, S. A., & Hashemzahi, P. (2016). Supplier selection in automobile industry: A mixed balanced scorecard-fuzzy AHP approach. *Alexandria Engineering Journal*, 55(1), 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.01.005>
- Ghadimi, P., & Heavey, C. (2014). Sustainable supplier selection in medical device industry: Toward sustainable manufacturing. *Procedia CIRP*, 15, 165–170. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.096>

- Glaize, A., Duenas, A., Di Martinelly, C., & Fagnot, I. (2019). Healthcare decision-making applications using multicriteria decision analysis: A scoping review. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 26(1–2), 62–83. <https://doi.org/10.1002/mcda.1659>
- Gold, S., & Awasthi, A. (2015). Sustainable global supplier selection extended towards sustainability risks from (1+n)th tier suppliers using fuzzy AHP based approach. *IFAC-PapersOnLine*, 28(3), 966–971. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.208>
- González, M. E., Quesada, G., & Monge, C. A. M. (2004). Determining the importance of the supplier selection process in manufacturing: A case study. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 34(6), 492–504. <https://doi.org/10.1108/09600030410548550>
- Grand View Research. (2021). *Prosthetics & Orthotics Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Orthotics, Prosthetics), By Region (North America, APAC), And Segment Forecasts, 2021 - 2028*. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/prosthetics-orthotics-market>
- Graue Wiechers, E., Mansilla Olivares, A., Salmanca Gómez, F., Fajardo Dolci, G., & Soberón Chávez, G. (2016). Los amputados y su rehabilitación. In E. V. Vela Sánchez (Ed.), *Academia Nacional de Medicina*. Intersistemas. https://www.anmm.org.mx/publicaciones/ultimas_publicaciones/Rehabilitacion.pdf
- Gupta, S., Soni, U., & Kumar, G. (2019). Green supplier selection using multi-criterion decision making under fuzzy environment: A case study in automotive industry. *Computers and Industrial Engineering*, 136(140), 663–680. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.038>
- Gutiérrez-Carreño, A. R. (2014). Amputación de extremidades. ¿Van a la alza? *Revista Mexicana de Angiología*, 42(3), 112–114.
- GVR. (2021, March). *Prosthetics & Orthotics Market Size Report, 2021-2028*. GRAND VIEW RESEARCH. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/prosthetics-orthotics-market>
- Hafezalkotob, A., Hafezalkotob, A., Liao, H., & Herrera, F. (2019). An overview of MULTIMOORA for multi-criteria decision-making: Theory, developments, applications, and challenges. *Information Fusion*, 51, 145–177. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.12.002>
- Haggstrom, E. E., Hansson, E., & Hagberg, K. (2012). Comparison of prosthetic costs and service between osseointegrated and conventional suspended transfemoral prostheses. *Prosthetics and Orthotics International*, 37(2), 152–160. <https://doi.org/10.1177/0309364612454160>
- Herrera, B., & Narciso, C. (2017). RANDOM APPROXIMATIONS IN STOCHASTIC PROGRAMMING- A SURVEY. In *Stochastic Programming : Theory, Applications, and Impacts* (pp. 1–40). Nova Science Publishers.
- Herrera Umaña, M. F., & Osorio Gómez, J. C. (2006). Modelo para la gestión de proveedores utilizando AHP Difuso. *Journal of Management and Economics for Iberoamerica*, 99, 69–88.
- Herrmann, J. W. (2017). Rational Decision Making. In *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online* (pp. 1–9). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat07928>
- Hsu, C. C., Tan, K. C., & Mohamad Zailani, S. H. (2016). Strategic orientations, sustainable supply chain initiatives, and reverse logistics: Empirical evidence from an emerging market. *International Journal of Operations and Production Management*, 36(1), 86–110. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-06-2014-0252>
- INEGI. (2020). *Población con limitación o discapacidad por entidad federativa según*

- sexo, 2020. INEGI.
https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Discapacidad_Discapacida_d_01_ab15caa8-8870-4e16-b4a9-210dade5fafc
- INR LGII. (2017, August 10). *Laboratorio de Órtesis y Prótesis*. Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra. <http://www.inr.gob.mx/r19.html>
- Jeong, H.-Y. (2020). ANP-based quantification method for the smart manufacturing system design decomposition. *Journal of Supercomputing*, 76(8), 6141–6157.
<https://doi.org/10.1007/s11227-018-2665-2>
- Juran, J., & Godfrey, A. (1998). JURAN'S QUALITY HANDBOOK, 5th EDITION. In *JURAN'S QUALITY HANDBOOK, 5th EDITION*.
- Kabir, S., & Papadopoulos, Y. (2018). A review of applications of fuzzy sets to safety and reliability engineering. *International Journal of Approximate Reasoning*, 100, 29–55.
<https://doi.org/10.1016/j.ijar.2018.05.005>
- Kahraman, C., Onar, S. Ç., Öztaysi, B., Seker, S., & Karasan, A. (2020). Integration of Fuzzy AHP with Other Fuzzy Multicriteria Methods: A State of the Art Survey. *J. Multiple Valued Log. Soft Comput.*, 35(1–2), 61–92.
<https://www.oldcitypublishing.com/journals/mvlsc-home/mvlsc-issue-contents/mvlsc-volume-35-number-1-2-2021/mvlsc-35-1-2-p-61-92/>
- Kahraman, C., Öztaysi, B., & Çevik Onar, S. (2016). A Comprehensive Literature Review of 50 Years of Fuzzy Set Theory. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(April), 3–24. <https://doi.org/10.1080/18756891.2016.1180817>
- Kamal El-Din, H., E. Abd El Munim, H., & Mahdi, H. (2020). Decision-Making in Fuzzy Environment: A Survey. In *Application of Decision Science in Business and Management* (Vol. 32, Issue July, pp. 137–144). IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.88736>
- Kar, A. K. (2015). A hybrid group decision support system for supplier selection using analytic hierarchy process, fuzzy set theory and neural network. *Journal of Computational Science*, 6, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2014.11.002>
- Karim, A., & Arif-Uz-Zaman, K. (2013). A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations. *Business Process Management Journal*, 19(1), 169–196.
<https://doi.org/10.1108/14637151311294912>
- Karsak, E. E., & Dursun, M. (2014). An integrated supplier selection methodology incorporating QFD and DEA with imprecise data. *Expert Systems with Applications*, 41(16), 6995–7004. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.06.020>
- Kaya, R., & Yet, B. (2019). Building Bayesian networks based on DEMATEL for multiple criteria decision problems: A supplier selection case study. *Expert Systems with Applications*, 134, 234–248. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.053>
- Kaya Samut, P., & Erdoğan Aktan, H. (2019). Integrating qualitative and quantitative factors in supplier selection and performance evaluation. *South African Journal of Industrial Engineering*, 30(2), 146–160. <https://doi.org/10.7166/30-2-1955>
- Khalilzadeh, M., & Derikvand, H. (2018). A multi-objective supplier selection model for green supply chain network under uncertainty. *Journal of Modelling in Management*, 13(3), 605–625. <https://doi.org/10.1108/JM2-06-2017-0062>
- Khan, S. A., Chaabane, A., & Dweiri, F. T. (2018). Multi-Criteria Decision-Making Methods Application in Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. In V. A. P. Salomon (Ed.), *Multi-Criteria Methods and Techniques Applied to Supply Chain Management* (pp. 3–32). <https://doi.org/10.5772/intechopen.74067>
- Konys, A. (2019). Methods supporting supplier selection processes - Knowledge-based

- approach. *Procedia Computer Science*, 159, 1629–1641.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.333>
- Kubler, S., Robert, J., Derigent, W., Voisin, A., & Le Traon, Y. (2016). A state-of the-art survey & testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications. *Expert Systems with Applications*, 65, 398–422. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.08.064>
- Kwon, I.-W., & Kim, S.-H. (2018). Framework for successful supply chain implementation in healthcare area from provider's prospective. *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 12(2), 135–145. <https://doi.org/10.1108/apjie-04-2018-0024>
- Lambert, D. M., Adams, R. J., & Emmelhainz, M. A. (1997). Supplier Selection Criteria in the Healthcare Industry: A Comparison of Importance and Performance. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 33(4), 16–22.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1997.tb00021.x>
- Lee, A. H. I., Chen, W. C., & Chang, C. J. (2008). A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. *Expert Systems with Applications*, 34(1), 96–107.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.08.022>
- Lii, P., & Kuo, F. I. (2016). Innovation-oriented supply chain integration for combined competitiveness and firm performance. *International Journal of Production Economics*, 174, 142–155. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.01.018>
- Linkov, I., Satterstrom, F. K., Kiker, G., Seager, T. P., Bridges, T., Gardner, K. H., Rogers, S. H., Belluck, D. A., & Meyer, A. (2006). Multicriteria decision analysis: A comprehensive decision approach for management of contaminated sediments. *Risk Analysis*, 61–78. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2006.00713.x>
- Liu, Y., Eckert, C. M., & Earl, C. (2020). A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Systems with Applications*, 161, 113738. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113738>
- Londoño Sierra, L. J., & Giraldo Pérez, Y. E. (2009). Análisis Envolvente de Datos -DEA- : Una aplicación al sector de telecomunicaciones de países de medianos ingresos. *Ecos de Economía: A Latin American Journal of Applied Economics*, 13(28), 53–73.
- Maltugueva, G. S., & Yurin, A. Y. (2015a). COMBINATION OF THE GROUP AND MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHODS IN BUSINESS MANAGEMENT. In R. Hudson (Ed.), *Decision-making: Processes, Behavioral Influences and Role in Business Management* (Vol. 10, Issue 8, pp. 21–24). Nova Science Publishers.
- Maltugueva, G. S., & Yurin, A. Y. (2015b). MULTI CRITERIA DECISION MAKING TECHNIQUES IN FINANCE : Orestis D . Schinas. In R. Hudson (Ed.), *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)* (Vol. 10, Issue 8, pp. 1–13). Nova Science.
- Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K. M. D., Khalifah, Z., Zakwan, N., & Valipour, A. (2015). Multiple criteria decision-making techniques and their applications - A review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomska Istrazivanja* , 28(1), 516–571. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>
- Molina Rueda, F. (2019). Prótesis de Miembro Inferior. In *Curso de Ortopedia y productos de apoyo en las patologías más comunes dirigido a fisioterapeutas* (Vol. 3, p. 15). EDITORIAL MÉDICA panamericana.
https://aula.campuspanamericana.com/_Cursos/Curso01249/Temario/M3/T1/3.1.CursoOrtopedia.pdf
- Moreira Campos, A. C. S., Mareschal, B., & Teixeira de Almeida, A. (2015). Fuzzy FlowSort: An integration of the FlowSort method and Fuzzy Set Theory for decision

- making on the basis of inaccurate quantitative data. *Information Sciences*, 293, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.09.024>
- Nadkarni, R. R., & Puthuvayi, B. (2020). A comprehensive literature review of Multi-Criteria Decision Making methods in heritage buildings. *Journal of Building Engineering*, 32(August), 101814. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101814>
- Nirmala, G., & Uthra, G. (2019). AHP based on triangular intuitionistic fuzzy number and its application to supplier selection problem. *Materials Today: Proceedings*, 16, 987–993. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.186>
- Nudurupati, S. S., Bhattacharya, A., Lascelles, D., & Caton, N. (2015). Strategic sourcing with multi-stakeholders through value co-creation: An evidence from global health care company. *International Journal of Production Economics*, 166(2003), 248–257. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.01.008>
- OCDE. (2019). Health at a Glance 2019. In *Conifarma*. OECD. <https://doi.org/10.1787/4dd50c09-en>
- Olden, P. (2019). *Management of Healthcare Organizations: An Introduction, Third Edition* (Tercera). Health Administration Press, Association of University Programs in Health Administration. <https://web.b.ebscohost.com/ehost/ebookviewer/ebook/bmxlYmtfXzIxNDQ1MDIlfX0FO0?sid=14b375d7-0796-42d8-98bc-9f61acabb872@sessionmgr103&vid=0&format=EB&rid=1>
- OMS. (2017a). *Normas de la Ortoprotésica de la OMS. Parte 1. Normas [WO standards for prosthetics and orthotics. Part 1. Standards]*. OMS.
- OMS. (2017b). OMS | 10 datos sobre la discapacidad. WHO. <http://www.who.int/features/factfiles/disability/es/>
- Osorio, J. C., Herrera, M. F., & Vinasco, M. A. (2008). Modelo para la evaluación del desempeño de los proveedores utilizando AHP. *Ingeniería y Desarrollo*, 23, 43–58. <http://www.redalyc.org/pdf/852/85202305.pdf>
- Parra-Calderón, C. A., Osorio-Gómez, J. C., & Escandón-López, J. C. (2019). Metodología multicriterio para la selección de proveedores bajo consideraciones de riesgo. *Scientia et Technica*, 24(02), 232–239. <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/19681>
- Pereira, D. da S., Almeida, M. R. de, Brandão, L. C., & Mello, J. C. C. B. S. de. (2018). *Li and Reeves Dual Model Applied To Brazilian Airports System* (Issue October). XIX CLAIO, the Latin-Iberoamerican Conference on Operations.
- Pérez Domínguez, L., Iniesta, A. A., Luis, J., Alcaraz, G., Osiris, O., & Villegas, V. (2015). Toma de decisiones Selección de proveedores con análisis dimensional difuso intuicionista. *Scientia et Technica*, 24(2), 232–239.
- Polater, A., & Demirdogen, O. (2018). An investigation of healthcare supply chain management and patient responsiveness: An application on public hospitals. *International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing*, 12(3), 325–347. <https://doi.org/10.1108/IJPHM-07-2017-0040>
- Porter, M. E. (2008). The five competitive forces that shape strategy. *Harvard Business Review*, 86(1), 1–17.
- RAE. (2020a). *metodología* | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE. <https://dle.rae.es/metodología>
- RAE. (2020b). *proveedor, proveedora* | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE. <https://dle.rae.es/proveedor>
- Raharjo, H., & Endah, D. (2006). Evaluating relationship of consistency ratio and number of alternatives on rank reversal in the AHP. *Quality Engineering*, 18(1), 39–46.

- <https://doi.org/10.1080/08982110500403516>
- Rashidi, K., & Cullinane, K. (2019). A comparison of fuzzy DEA and fuzzy TOPSIS in sustainable supplier selection: Implications for sourcing strategy. *Expert Systems with Applications*, 121, 266–281. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.12.025>
- Reina-Usuga, L., De Haro Giménez, T., & Parra-López, C. (2018). Análisis mediante el Proceso Analítico en Red (ANP) de criterios de sostenibilidad de los canales cortos de comercialización frente a la gran comercialización alimentaria en Bogotá , Colombia. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 250, 161–189.
- Rodrigues Lima, F. J., Osiro, L., & Ribeiro Carpinetti, L. C. (2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Applied Soft Computing Journal*, 21, 194–209. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.03.014>
- Rubem, A. P. S., & Brandão, L. C. (2015). Multiple criteria data envelopment analysis - An application to UEFA EURO 2012. *Procedia Computer Science*, 55(Itqm), 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.031>
- Saaty, T. L., & Vargas, L. (2006). The analytic network process. In *Proceedings of the 14th International Symposium on Operational Research, SOR 2017* (Vols. 2017-Septe, Issue September 2006, pp. 180–186). University of Pittsburgh 191. <https://doi.org/10.1007/0-387-33987-6>
- Saikia, A., Mazumdar, S., Sahai, N., Paul, S., Bhatia, D., Verma, S., & Rohilla, P. K. (2016). Recent advancements in prosthetic hand technology. *Journal of Medical Engineering and Technology*, 40(5), 255–264. <https://doi.org/10.3109/03091902.2016.1167971>
- Salam, M. A., & Khan, S. A. (2018). Achieving supply chain excellence through supplier management : A case study of fast moving consumer goods Benchmarking : An International Journal Article information : *Benchmarking: An International Journal*, 25(9), 4084–4102. <https://doi.org/10.1108/BIJ-02-2018-0042>
- Sarache, W. A. C., Castrillón, Ó. D. G., & Ortiz, L. F. F. (2009). Selección de proveedores: una aproximación al estado del arte. *Cuadernos de Administración ISSN:*, 11(1), 86–107. <http://www.redalyc.org/pdf/646/64612291008.pdf><http://www.redalyc.org/pdf/2741/274119541003.pdf><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S012359231270222X>
- Sargo, S. (2018). Prótesis de mano impresas con tecnología 3D. Cómo mejorar la aceptación de las personas con respecto a sus prótesis Prótesis de mano impresas con tecnología 3D. In *Universidad de Palermo*. Universidad de Palermo.
- Serra, P. (2016). *TEMA 6. PRÓTESIS*. Universidad de Valencia.
- Simić, D., Kovačević, I., Svirčević, V., & Simić, S. (2017). 50 years of fuzzy set theory and models for supplier assessment and selection: A literature review. *Journal of Applied Logic*, 24, 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.jal.2016.11.016>
- SNDIF. (2019, February 5). *El SNDIF atiende a personas con discapacidad en 21 centros de rehabilitación | Sistema Nacional DIF | Gobierno | gob.mx*. Sistema Nacional DIF. <https://www.gob.mx/difnacional/prensa/el-sndif-atiende-a-personas-con-discapacidad-en-21-centros-de-rehabilitacion>
- Sousa, M., Almeida, M. F., & Calili, R. (2021). Multiple Criteria Decision Making for the Achievement of the UN Sustainable Development Goals: A Systematic Literature Review and a Research Agenda. *Sustainability*, 13(8), 4129. <https://doi.org/10.3390/su13084129>
- Stojčić, M., Zavadskas, E. K., Pamučar, D., Stević, Ž., & Mardani, A. (2019). Application of MCDM methods in sustainability engineering: A literature review 2008-2018.

- Symmetry*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/sym11030350>
- Taherdoost, H., & Brard, A. (2019). Analyzing the Process of Supplier Selection Criteria and Methods. *Procedia Manufacturing*, 32, 1024–1034. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.317>
- Tavassoli, M., Saen, R. F., & Zanjirani, D. M. (2020). Assessing sustainability of suppliers: A novel stochastic-fuzzy DEA model. *Sustainable Production and Consumption*, 21, 78–91. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.11.001>
- Thanaraksakul, W., & Phruksaphanrat, B. (2009). Supplier Evaluation Framework Based on Balanced Scorecard with Integrated Corporate Social Responsibility Perspective. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, 2175(1), 1929–1934.
- Tirkolaee, E. B., Mardani, A., Dashtian, Z., Soltani, M., & Weber, G. W. (2020). A novel hybrid method using fuzzy decision making and multi-objective programming for sustainable-reliable supplier selection in two-echelon supply chain design. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119517. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119517>
- Triantaphyllou, E. (2000). Multi-Criteria Decision Making Methods. In: Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study. *Applied Optimization*, 44 Springe(August), 35–48. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3157-6>
- Vela Sánchez, E. V., Hjar Medina, M., Pérez, L. R., & Xicotencatl Rojas, O. P. (2015). *Acta de la Sesión del 4 de marzo del 2015 Academia Nacional de Medicina*.
- Wanamaker, A. B., Andridge, R. R., & Chaudhari, A. M. W. (2019). Projected Health Care Associated Costs of Workplace-Related Traumatic Amputation After 10, 15, and 20 Years: Part I: Lower Limb. *JPO Journal of Prosthetics and Orthotics*, 31(3), 189–198. <https://doi.org/10.1097/JPO.0000000000000260>
- Weber, C. A., Current, J. R., & Benton, W. C. (1991). Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research*, 50(1), 2–18. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(91\)90033-R](https://doi.org/10.1016/0377-2217(91)90033-R)
- WHO. (2001). *Guiding Principles for Selecting Supplies and Equipment* (pp. 5–12). World Health Organization. [https://www.who.int/management/resources/procurement/MedicalSuppliesforPHC\(1\)GuidingPrinciples.pdf](https://www.who.int/management/resources/procurement/MedicalSuppliesforPHC(1)GuidingPrinciples.pdf)
- Wong, B. K., & Lai, V. S. (2011). A survey of the application of fuzzy set theory in production and operations management: 1998-2009. *International Journal of Production Economics*, 129(1), 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.09.013>
- Xu, N., & Nozick, L. (2009). Modeling supplier selection and the use of option contracts for global supply chain design. *Computers and Operations Research*, 36(10), 2786–2800. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2008.12.013>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zhao, li, Huo, B., Sun, L., & Zhao, X. (2013). The impact of supply chain risk on supply chain integration and company performance: a global investigation. *Supply Chain Management: An International Journal*, 18(2), 115–131. <https://doi.org/10.1108/13598541311318773>

ANEXOS



PUEBLA, PUE. A 3 DE DICIEMBRE DE 2021
ASUNTO: CARTA DE TÉRMINO

DR. JUAN CARLOS PÉREZ GARCÍA
UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL ESTADO DE PUEBLA
PRESENTE

Estimado Dr. PÉREZ:

Por medio de la presente me permito informarle que LIZETH ROMERO MARTÍNEZ, estudiante de la MAESTRÍA EN PLANEACIÓN ESTRATÉGICA Y DIRECCIÓN DE TECNOLOGÍA en la UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL ESTADO DE PUEBLA, con matrícula 18900467, desarrolló en la organización PROASTHETICS un proyecto de consultoría aplicada, desde el 1 de junio 2021 al 1 de diciembre 2021, a partir del cual se generó un trabajo de evaluación para la misma.

De igual forma, le informo que consideraremos las recomendaciones que nos parezcan pertinentes del trabajo que nos presentarán, pues también con seguridad aportarán nuevos y valiosos elementos que enriquecerán a nuestra organización.

Agradezco de antemano su atención y, sin más por el momento, me despido, enviándole un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Bioingeniería al alcance de tu salud"

Ing. Rita Suárez Toscano
Directora Ejecutiva Proasthetics
(222) 6788440
proasthetics.contacto@gmail.com

Proasthetics.
Puebla, PUE.
(222) 678 8440
(777) 489 0141
proasthetics.contacto@gmail.com