

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – CHILE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**LOGÍSTICA REVERSA PARA DISPOSITIVOS MÉDICOS. USO DE
HERRAMIENTAS MCDM EN SELECCIÓN DE PROVEEDORES**

por

Francisco Javier Jara Jofré

Profesor Guía:

Lorena Pradenas Rojas

Concepción, Marzo de 2019

Tesis presentada a la

**DIRECCIÓN DE POSTGRADO
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**



Para optar al grado de
MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

RESUMEN

LOGÍSTICA REVERSA PARA DISPOSITIVOS MÉDICOS. USO DE HERRAMIENTAS MCDM EN SELECCIÓN DE PROVEEDORES

Francisco Javier Jara Jofré

Marzo de 2019

PROFESOR GUIA: Lorena Pradenas Rojas

PROGRAMA: Magíster en Ingeniería Industrial

La disposición final que actualmente se proporciona a los dispositivos médicos en Chile no se encuentra regularizada como tal, sino que se consideran como residuos electrónicos. La creciente preocupación por parte de entidades gubernamentales sobre la contaminación ambiental obliga a las empresas a incorporar sistemas logísticos que se preocupen de la disposición final de sus productos, proceso denominado Logística Reversa o Logística Verde. En este estudio se utilizan tres técnicas multicriterio (AHP, TOPSIS y ANP) para determinar que un proveedor o socio estratégico se encargue de la disposición final de los dispositivos médicos después de su vida útil en un centro de salud. Se obtienen resultados de las tres herramientas y se comparan las técnicas utilizadas obteniendo resultados similares, que solo varían en el porcentaje de preferencias entre las alternativas. La contribución de este estudio es el análisis del desempeño de diferentes herramientas multicriterio en un caso de estudio real, mostrando el potencial de estas herramientas en el ámbito de la salud.

Palabras claves: AHP, ANP, Logística reversa, TOPSIS, dispositivos médicos, herramientas MCDM.

ABSTRACT

REVERSE LOGISTICS FOR MEDICAL DEVICES. USE OF MCDM TOOLS IN THE SELECTION OF PROVIDERS

Francisco Javier Jara Jofré

March 2019

THESIS SUPERVISOR: Lorena Pradenas Rojas

PROGRAM: Magíster in Industrial Engineering

The final disposition that is currently provided to medical devices in Chile is not regularized as such but is considered as electronic waste. The growing concern on the part of government entities about environmental pollution forces companies to incorporate logistics systems that are concerned with the final disposal of their products systems, called Reverse Logistics or Green Logistics. In this study, it is proposed to use three multicriteria techniques (AHP, TOPSIS and ANP), to determine which supplier or strategic partner is responsible for the final disposal of medical devices after their useful life in a health center. Results are obtained and the techniques used are compared, with similar results that only vary in the percentage of preference among the alternatives. The contribution of this study is the analysis of the performance of different multicriteria tools in a real case study showing the potential of these tools in the field of health.

Keyword: AHP, ANP, TOPSIS, Reverse Logistics, medical device, MCDM.

TABLA DE CONTENIDOS

LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABLAS.....	VII
ABREVIACIONES.....	VIII
<i>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....</i>	<i>1</i>
1.1. HIPOTESIS	1
1.1.1 Objetivo General	1
1.1.2 Objetivos Específicos	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1 FLUJO DIRECTO	4
1.2.1.1 Fabricantes.....	4
1.2.1.2 Canales de distribución.....	5
1.2.1.3 Principales distribuidores o minoristas	6
1.2.1.4 Clientes	6
1.2.2 FLUJO INVERSO.....	9
1.2.2.1 Devoluciones por garantía	9
1.2.2.2 Productos al final de su vida útil.....	10
<i>CAPÍTULO 2 Revisión Bibliográfica.....</i>	<i>14</i>
2.1 MODELO MATEMÁTICO (PLEM).....	14
2.2 HERRAMIENTAS MULTICRITERIO	19
<i>CAPITULO 3 Marco Teórico.....</i>	<i>24</i>
3.1 LOGÍSTICA Y LOGISTICA REVERSA	24
3.2 MCDM HERRAMIENTAS MULTICRITERIO	28
3.2.1 AHP	28
3.2.2 ANP	30
3.2.3 TOPSIS	31
<i>CAPITULO 4 Metodología.....</i>	<i>33</i>
4.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO JERÁRQUICO	34
4.2 ANÁLISIS AHP	36
4.3 ANÁLISIS ANP.....	40
4.4 ANÁLISIS TOPSIS.....	47
<i>CAPÍTULO 5 Resultados</i>	<i>50</i>
5.1 RESULTADOS PARA AHP	50
5.2 RESULTADOS PARA ANP	53
5.3 RESULTADOS PARA TOPSIS	59
<i>CAPÍTULO 6 Discusión</i>	<i>63</i>
6.1 CONSOLIDACIÓN DE DATOS.....	63

6.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	64
6.2.1 Análisis sensibilidad AHP.....	65
6.2.2 Análisis de sensibilidad ANP.....	68
6.2.3 Análisis de la literatura revisada	72
CAPÍTULO 7 Conclusiones	73
REFERENCIAS.....	75
ANEXO A Matricez de comparación por pares de Expert Choice	78
ANEXO B Matricez de comparación mediante Super Decision	82



Lista de Figuras

Figura 1: Flujos directos e inversos en la logística.	3
Figura 2: Canales de Distribución del mercado de dispositivos médicos en Chile.	5
Figura 3: Diferencia entre AHP y ANP.	31
Figura 4: Esquema de metodología usada (fuente propia)	33
Figura 5: Esquema jerárquico del estudio.	36
Figura 6: Modelo en red para ANP del caso de estudio.	41
Figura 7: Modelo jerárquico obtenido a partir de Expert Choice.	50
Figura 8: Vector prioridad global respecto al objetivo.	53
Figura 9: Modelo en red del problema tratado a través de Super Decisions.	54
Figura 10: Gráficos de vectores de prioridad normalizados de las alternativas.	58
Figura 11: Vectores de prioridad normalizados para criterios.	59
Figura 12: Gráfica de prioridades de las alternativas.	62
Figura 13: Resultados finales para AHP, ANP y TOPSIS.	64
Figura 14: Aumento en 20% al criterio C1 obtenido mediante Expert Choice.	65
Figura 15: Variación de las preferencias al aumentar 20% al criterio C1.	65
Figura 16: Disminución en 15% al criterio C1 mediante Expert Choice.	66
Figura 17: Variación de las preferencias al disminuir en 15% el criterio C1.	66
Figura 18: Aumento en 30% de las preferencias para el criterio C10.	67
Figura 19: Variación de las preferencias al aumentar en un 30% la preferencia de C10.	68
Figura 20: Aumento de la preferencia para el criterio C1 en 50%.	69
Figura 21: Aumento de la preferencia al criterio C1 en 50%.	69
Figura 22: Disminución en la preferencia del criterio C1 en 30%.	70
Figura 23: Disminución en la preferencia del criterio C1 en 30%.	70
Figura 24: Aumento en 40% de preferencia al criterio C10.	71
Figura 25: Aumento en 40% de preferencia al criterio C10.	71

Lista de Tablas

Tabla 1: Marcas más importantes presentes en Chile, según tipo de dispositivo médico.	4
Tabla 2: Principales proveedores de dispositivos e insumos médicos en Chile (Fuente: ISP, 2017)	6
Tabla 3: Resumen revisión bibliográfica.	22
Tabla 4: Diferencias entre la Logística y la LR (Tibben-Lembke, 2002).	26
Tabla 5: Atributos de la LR (A partir de Dowlatsahi, 2000).	27
Tabla 6: Escala fundamental del método AHP (Saaty, 2008)	30
Tabla 7: Notación para cada criterio y alternativa.	37
Tabla 8: Valores de IA según n (Saaty, 2014).....	39
Tabla 9: Matriz de dominancia interfactorial	43
Tabla 10: Matrices de comparación por pares para C3 y sus vectores de prioridad.	45
Tabla 11: Supermatriz ponderada para el caso de estudio.	46
Tabla 12: Matriz de decisión para aplicar TOPSIS al caso de estudio.	47
Tabla 13: Vector de prioridades para cada uno de los criterios.	51
Tabla 14: Vectores de prioridad de las alternativas respecto a cada criterio.	52
Tabla 15: Vector de prioridad global respecto al objetivo	52
Tabla 16: Supermatriz original para caso de estudio.	55
Tabla 17: Supermatriz ponderada obtenida mediante Super Decisions.	56
Tabla 18: Supermatriz límite obtenido con Super Decisions.	57
Tabla 19: Vectores de prioridad normalizada para alternativas.	58
Tabla 20: Vectores de prioridad normalizados para criterios.	58
Tabla 21: Matriz de decisión uso de TOPSIS	60
Tabla 22: Matriz de decisión normalizada.	60
Tabla 23: Matriz de decisión normalizada ponderada.	60
Tabla 24: Valores de la solución ideal positiva (A^+) y solución ideal negativa (A^-) para cada criterio.	60
Tabla 25: Distancias de las alternativas respecto a la solución ideal positiva y negativa.	61
Tabla 26: Proximidad de las alternativas y ranking final de prioridades.	61
Tabla 27: Resultados finales para AHP, ANP y TOPSIS.	64

Abreviaciones

Mayúsculas

LR.	: Logística Reversa.
GA.	: Genetic Algorithm.
MILP	: Mixed-integer linear programming.
PLEM	: Programación Lineal Entera Mixta
BPSO	: Binary Particle Swarm Optimization.
WEEE	: Waste Electrical and Electronic Equipment.
EOL	: End of Life.
PSO	: Particle Swarm Optimization.
GAMS	: General Algebraic Modeling System.
CFC	: Chlorofluorocarbons.
AHP	: Analytic Hierarchy Process.
ANP	: Analytic Network Process.
TOPSIS	: Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solutio

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El área de la salud en Chile año tras año presenta innovaciones no solo tecnológicas, sino que también en sus procesos operacionales, para así contribuir a un mejor servicio al cliente. Uno de estos procesos tiene relación con el retiro de sus residuos, el cual es cada vez más complejo debido a una mayor atención impuesta por entidades gubernamentales, en la disposición final de éstos. Dentro de estos residuos se encuentran los dispositivos médicos, incluidos en la categoría de residuos electrónicos, pero que en muy pocos centros de salud nacionales se le da una correcta disposición final; en muchos casos terminan ocupando espacios de bodegaje innecesario.

En este contexto se usa la LR (Logística Reversa), la cual se encarga de determinar el correcto flujo inverso de los productos en desuso o fuera de su vida útil, considerando condiciones medio ambientales y económicas.

El objetivo de la LR, además de encargarse de la retirada y clasificación de los productos y su respectiva devolución a los fabricantes, es decidir si un producto puede ser reutilizado de manera directa o si es posible mejorar el producto (Ejemplo: reparar, renovar, refabricar), recuperar algunos materiales (desmantelamiento, reciclaje) o simplemente, si debe ir a un centro de eliminación (incineración, vertederos). Incluso es capaz de anticiparse al fin de la vida útil de los productos con el objetivo de mayor rotación en los mercados. Por lo tanto, se debe demostrar que la utilización de herramientas MCDM son aplicables a determinar la implementación de un sistema de LR en un centro de salud.

En Jara (2014), se estudia el concepto de LR para dispositivos médicos en un centro de salud Chileno, mediante el diseño de una red de LR con la utilización combinada de un modelo matemático y herramientas MCDM, con la finalidad de determinar la ubicación de instalaciones de tratamiento de los dispositivos médicos fuera de uso, con instancias de prueba generadas para un centro de salud en particular.

1.1 Hipótesis

Es posible determinar el proveedor más adecuado en la implementación de un sistema de LR en un centro de salud, mediante herramientas MCDM.

1.1.1 Objetivo General

Proponer una metodología basada en MCDM para el proceso Logística Reversa (LR) en dispositivos médicos aplicado a un centro de salud Chileno.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Revisar procedimientos actuales relacionados a la LR presentes en centros hospitalarios de Chile.
- Recopilar información relativa a: empresas, fabricantes, distribuidores y vida útil de un conjunto de dispositivos médicos usados en Chile y también de las empresas encargadas del retiro y disposición final de estos.
- Revisar y analizar la literatura sobre la LR.
- Determinar el mejor socio estratégico en LR para dispositivos médicos para el centro de salud en estudio.
- Comparar resultados de los *rankings* obtenidos de cada una de las herramientas MCDM y determinar si existe o no diferencia.
- Identificar las principales criterios y atributos determinantes a la hora de tomar decisiones relativas a LR.



1.2 Descripción del problema

Las empresas productivas y de servicios, en base a presiones realizadas por diversos grupos sociales y gubernamentales sobre temas ambientales, son obligadas a realizar un conjunto de buenas prácticas relacionadas al cuidado ambiental, es decir, las organizaciones actuales no deben solamente asegurar el flujo directo de productos hacia sus respectivos clientes, sino que además deben gestionar la recuperación de sus productos desde los clientes, con el fin de no generar residuos que signifiquen una potencial fuente de contaminación para las personas o el ambiente.

La LR (Logística Reversa) o de flujo inverso representa una buena forma de gestionar la devolución de estos productos. Hace referencia al control de todos los flujos de materiales en sentido inverso en la cadena logística, es decir, desde el punto de consumo hasta el punto de origen, de manera eficiente, con el objetivo de recuperar parte o la totalidad de su valor.

El objetivo de la LR, además de encargarse de la retirada y clasificación de los productos y su respectiva devolución a los fabricantes, es decidir si un producto puede ser reutilizado de manera directa, si se puede realizar una mejora del producto (Ejemplo: reparar, renovar, refabricar), si se pueden recuperar algunos materiales

(desmantelamiento, reciclaje), o simplemente si debe ser llevado a un centro de eliminación (incineración, vertederos). Incluso, es capaz de anticiparse al fin de la vida útil de los productos con el objetivo de una mayor rotación en los mercados.

La LR de dispositivos médicos tratada en este estudio puede ser explicada en términos de flujos directos y flujos inversos, en la cadena de suministro de *bucle* cerrado de la Figura 1.

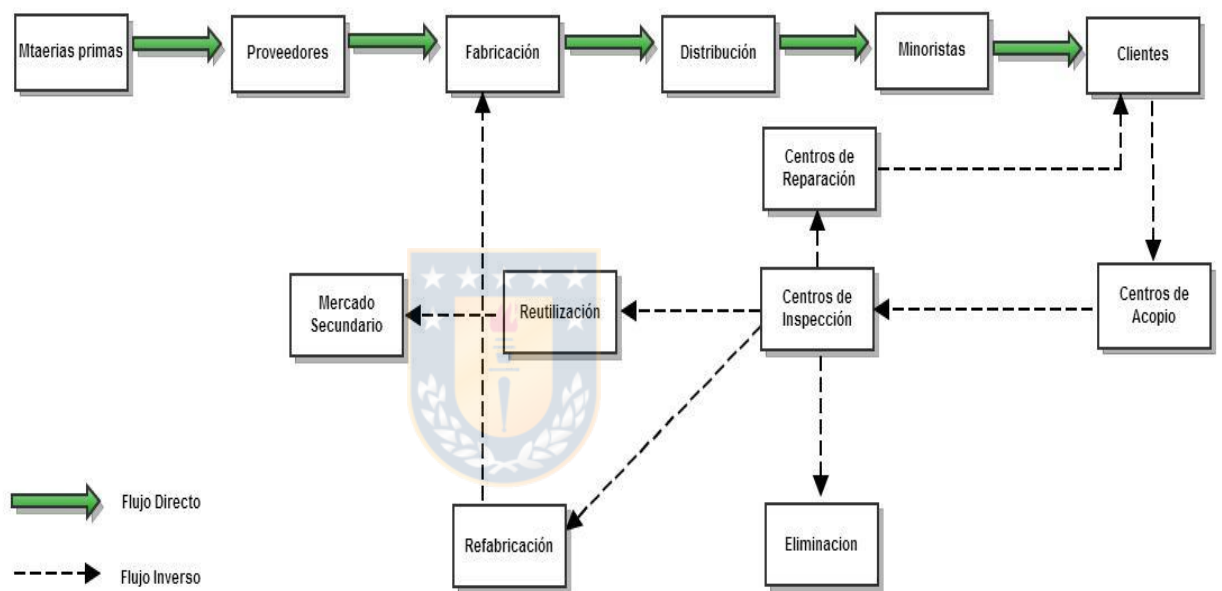


Figura 1: Flujos directos e inversos en la logística

En los flujos directos se dispone de:

- Fabricantes
- Canales de distribución
- Distribuidores o minoristas
- Clientes

Y para el caso de los flujos inversos, tenemos:

- Devoluciones por garantía
- Productos al final de su ciclo de vida

A continuación se describirán cada uno de estos flujos, en relación al mercado de

los dispositivos médicos, en donde el cliente final, para este estudio, será el centro de salud.

1.2.1 Flujo Directo

1.2.1.1 Fabricantes

El mercado relacionado al desarrollo de dispositivos médicos en Chile es prácticamente inexistente y, como consecuencia de esto, su comercialización se basa principalmente en la importación de estos productos, con una fuerte presencia de empresas extranjeras que satisfacen gran parte de la demanda nacional existente. Las empresas nacionales que se dedican a la comercialización y/o distribución de equipamiento médico son representantes de marcas y equipos extranjeros con prestigio internacional.

La fabricación del equipamiento médico importado a nuestro país se centra fuertemente en: Estados Unidos, Brasil, Alemania, Japón y China. A continuación, la Tabla 1 presenta las principales empresas dedicadas al desarrollo de dispositivos médicos, clasificados en base al tipo de equipo.

Tabla 1: Marcas más importantes presentes en Chile, según tipo de dispositivo médico. (Fuente: elaboración propia)

Electrocardiógrafos	3M	GE	NIHON KOHDEN	CONMED
Aparatos de Diagnóstico Ultrasónico	SONOSITE	MINDRAY	ALOKA	ESAOTE
Aparatos de diagnóstico por resonancia magnética	SIEMENS	PHILIPS	GE	
Incubadoras	GE	DRÄGER	DATEX OHMEDA	
Desfibriladores	NIHON	PHILIPS	ZOLL	MEDTRONIC
Monitores cardiacos	CRITICARE	WELLCH ALLYN	COSMED	HEALFORCE
Aparatos de diálisis	FRESENIUS	BAXTER	NIPRO	
Aparatos anestésicos	DATEX OHMEDA	MINDRAY	DRÄGER	FRESENIUS
Nebulizadores	PHILIPS	DRÄGER	MEDTRONIC	
Aparatos aerosolterapia	PHILIPS	DRÄGER	MEDTRONIC	
Estimuladores cardíacos	BIOTRONIK	MEDTRONIC	ST. JUDE MEDICAL	BOSTON SCIENTIFIC
Aparatos Tomografía	TOSHIBA	PHILIPS	SIEMENS	GE
Aparatos Rayos X	TOSHIBA	SIEMENS	PHILIPS	GE
Tubos rayos X	TOSHIBA	SIEMENS	PHILIPS	ALOKA

Para los centros de salud en Chile las marcas o fabricantes de equipos médicos mencionados en la Tabla 1, son las más utilizadas. Sin embargo, en las decisiones de compra de un centro de salud en particular y, en general en el sector público, no disponen de un criterio en particular con preferencia por un fabricante en específico, sino mas bien por una mayor relevancia en las especificaciones técnicas que ellos necesitan, el precio del dispositivo y que disponga de servicios post venta acorde a lo solicitado.

1.2.1.2 Canales de distribución

La forma más común de las empresas mencionadas en la Tabla 1 para comercializar sus productos, es a través de un representante o agente establecido en Chile, el cual es el encargado de la distribución y/o comercialización. Por otro lado también, las grandes empresas multinacionales de equipos médicos disponen filiales de la empresa en nuestro país, como es el caso de SIEMENS, PHILIPS, Dräger, NIPRO, Fresenius, General Electrics, Baxter, 3M y Conmed, entre otros. Además, existen empresas que se centralizan en Latinoamérica y que desde esa oficina central coordinan las actividades de distribución de todos sus productos en Latinoamérica, como es el caso de la Italiana Esaote, que tiene su filial en Argentina.

Por lo tanto, si las empresas comercializan sus productos en Chile, es prácticamente requisito poseer una filial o un agente en nuestro país, ya que facilita o aumenta el número de clientes a participar con mayor libertad en el proceso de licitación. En la Figura 2, se muestra un esquema que facilita la comprensión del proceso de distribución del mercado del equipamiento médico.

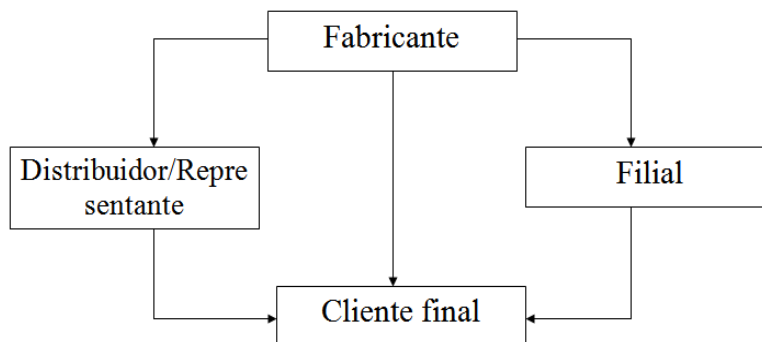


Figura 2: Canales de Distribución del mercado de dispositivos médicos en Chile

1.2.1.3 Principales distribuidores o minoristas

Las principales empresas minoristas encargadas de la comercialización de dispositivos médicos en Chile, se observan en la Tabla 2, con los principales proveedores de dispositivo e insumos médicos en el país.

Tabla 2: Principales proveedores de dispositivos e insumos médicos en Chile
(Fuente: ISP, 2017)

HOSER INGENIERÍA	P.V. EQUIP
PENTAFARMA S.A.	ANDOVER ALIANZA MÉDICA, SA
MEDIPILEX S.A.	TECNOIMAGEN LTDA.
HEMISFERIO SUR S.A.	MEDITEC S.A.
INTERNATIONAL CLINICS S.A.	ATM, S.A.
BIOSCOM	STRYKER
3M CHILE S.A.	ARLAB
ALL MEDICA S.A.	DMSC MEDICAL SYSTEMS
DRAGER MEDICAL CHILE, LTDA.	JOHNSON & JOHNSON MEDICAL CHILE
MEDCOM EQUIPOS MEDICOS LTDA.	SURMEDICAL S.A.

El listado observado en la Tabla 2, muestra las principales empresas minoristas nacionales de dispositivos médicos. Muchas de estas empresas también son representantes de fabricantes de equipos médicos (ver Tabla 1).

Para ampliar la información relacionada a las empresas distribuidoras de dispositivos médicos en nuestro país, el Instituto de Salud Pública posee un registro con todas las empresas registradas hasta la fecha y que están autorizadas a comercializar sus productos en Chile.

1.2.1.4 Clientes

Para finalizar, el proceso de flujo directo en la cadena de suministro de dispositivos médicos, se tratará todo lo relacionado al cliente final utilizado para este estudio, evaluando el proceso de compra utilizado por los centros de salud y los criterios de adquisición en los que se basan éstos para adquirir un dispositivo.

Proceso de compra

El procedimiento o la forma de adquirir un nuevo dispositivo médico, en cualquier institución de salud pública Chilena, se encuentra controlado y regulado por la ley 19.886 de compras públicas: “Ley de Bases Sobre Contratos Administrativos de Suministro y Prestación de Servicios” conteniendo un marco de referencia con un cuerpo normativo flexible y con reglas básicas de transparencia y procedimientos de compras y contrataciones. Dado que el procedimiento está controlado por un ente

jurídico, un hospital o servicio de salud no puede hacer su elección de adquisición basando su criterio de compra en marcas o precios, propiamente tal, sino más bien, en los requerimientos técnicos y administrativos, para la cual el dispositivo será utilizado. Por ejemplo, si un hospital necesitara una máquina de anestesia, ellos no necesitan que sea de la marca DRAGER, por mencionar una marca con un alto prestigio en este tipo de dispositivos, sino que seleccionan al que cumpla con las especificaciones establecidas en el formulario de compra, las cuales son emitidas por el jefe de equipos médicos.

Otra alternativa de adquisición de dispositivos médicos es mediante *Leasing Bancario*, en donde los centros de salud gestionan la compra mediante la solicitud de *leasing* a una entidad bancaria. Generalmente, esta alternativa de adquisición es mayormente utilizada en el sector privado de la salud.

En el sector privado, la adquisición de dispositivos médicos se basa principalmente en evaluaciones realizadas por comités integrados por un equipo técnico y médico, pero es menos exigente que en el sector público, ya que solo se solicitan cotizaciones a los proveedores y no se suben bases técnicas (a nivel general), a menos que sea una compra a nivel corporativo.

En base a lo anterior, el proceso de compra o adquisición se basa en tres grandes factores, tanto en el sector público, como el en el privado, los cuales son: las especificaciones técnicas del dispositivo, el precio y el plazo de entrega de los dispositivos por parte de los proveedores (incluido su servicio técnico), ya que siempre se compra por necesidad de reposición de algún equipo médico o bien, para realizar una nueva adquisición. Por otro lado, es importante mencionar que la compra de dispositivos médicos está estrechamente relacionada con las variaciones de demanda (respecto al número de pacientes por dispositivo), ya que, si aumenta la demanda por un equipo en particular, aumenta la necesidad de utilización de este equipo. Por ende, se debe adquirir uno o dos adicionales al ya existente, dependiendo de cuan significativo fue el aumento de la demanda.

El costo de transporte de los dispositivos médicos queda generalmente establecido por parte del mandante, en donde se deja en claro que debe ser la empresa distribuidora quien se encargue del traslado e instalación del equipo en el centro de salud.

Factores asociados a la decisión de compra

Tal como se mencionó anteriormente, para el centro de salud en estudio, existen

principalmente, tres factores asociados a las decisiones de compra de algún dispositivo médico, los cuales se detallan a continuación:

- **Técnico:** Es el factor más relevante para un centro de salud, al momento de realizar la adquisición de un nuevo dispositivo, ya que tal como se mencionó anteriormente, dentro del comité de adquisición existe un ente técnico encargado de recolectar información técnica de lo solicitado por el servicio en particular.

En general, el sector público de salud tiene como factor primordial en su decisión de compra, el factor técnico requerido del dispositivo y no una marca o fabricante en particular, a diferencia del sector privado, en donde sí es posible adquirir una marca de mayor relevancia en el mercado de dispositivos médicos, y el factor calidad juega un papel fundamental.

- **Precio:** En general, todo el sector público de salud es muy sensible al precio de compra de dispositivos médicos, al poseer recursos limitados en relación a la cantidad de personas demandando cobertura médica, motivo por el cual se focalizan en cubrir la alta demanda de atención primaria, en desmedro de realizar una fuerte inversión en alta tecnología. Por lo tanto, el factor precio es fundamental en el proceso de adquisición de cualquier dispositivo, ya sea en el sector de salud pública y privada.
- **Plazos y servicio post venta:** Otro factor relevante, para hacer elección del proveedor de dispositivos médicos, son los plazos de entrega, ya que muchas veces, el dispositivo que se desea comprar es de alta demanda, por lo que es importante que quien se adjudique la licitación sea preciso en los tiempos de entrega estipulados, realizado por el centro de salud.

Por otro lado, los dispositivos médicos al ser considerados como tecnológicamente elevados, deben considerar un servicio técnico encargado de las mantenciones por ejemplo, o buen un servicio post venta. Los encargados de los servicios post venta son las empresas proveedoras de dispositivos, que tal como se mencionó anteriormente, corresponden a filiales o representantes de fabricantes extranjeros.

Además, otro factor que posee una gran relevancia a la hora de tomar una decisión sobre la adquisición de un dispositivo médico, es lo relacionado a la rentabilidad que el dispositivo generará para el centro de salud. Esta rentabilidad, se traduce generalmente en beneficios económicos, pero también en beneficios sociales, ya que generalmente a la hora de adquirir un nuevo dispositivo, tiene mucha relevancia la demanda de pacientes que serán usuarios de tal dispositivo.

1.2.2 Flujo Inverso

El análisis del flujo inverso, dentro de un sistema de LR, se realiza a partir de los clientes o consumidores de algún producto o servicio en particular. En este estudio se analiza el caso de los dispositivos médicos de un centro de salud, evaluando los diferentes tipos de flujos inversos que ocurren en este centro.

Existen diversos tipos de flujos inversos y son descritos en la literatura especializada, entre los cuales logramos detectar los siguientes:

1.2.2.1 Devoluciones por garantía

Las devoluciones por garantía hacen referencia a productos que han presentado fallas durante su utilización o que llegan dañados, después del envío. Para el mercado de los dispositivos médicos, tal como se mencionó anteriormente, la garantía ofrecida por parte de las empresas distribuidores de estos, es un criterio importante a la hora de adquirir un nuevo dispositivo.

Para un centro de salud, en general, las garantías quedan estipuladas en las especificaciones previas a la compra, en donde, por reglamento interno del centro de salud en estudio, exigen que al menos sea de dos años, para dispositivos con un grado de utilización menor y para los accesorios pequeños de los dispositivos, las empresas solo les otorgan un periodo de garantía que circula entre los seis y doce meses, por mayor manipulación. Por ejemplo, suele pasar que las empresas les otorguen una garantía de dos años a un Ecógrafo, pero solo un año a los transductores de este dispositivo. Los transductores disponen de una mayor manipulación, por lo que la empresa no corre el riesgo de estar cambiando los transductores al pasar el año de uso, que es cuando comienza a presentar fallas, por ende, solo le otorga 1 año de garantía a estos.

Si bien las empresas se hacen cargo de la reparación de algún dispositivo por falla durante su periodo de garantía, no siempre son ellos los que corren con los gastos de retirada y traslado de los equipos, variando según la necesidad por parte del centro de salud. En la mayoría de los casos, esto es gestionado por el centro de salud e incurre en gastos. Por ejemplo, si tuviéramos 10 pabellones con el mismo número de máquinas de anestesia, si falla una de estas máquinas, tendríamos un pabellón no operativo. Entonces para estos casos, el centro de salud no puede esperar a que la empresa evalúe y retire el equipo, procedimiento que a veces tarda demasiado y es por esto mismo que optan por hacer ellos mismos la retirada y traslado del equipo hacia el servicio técnico de la empresa, para que el tiempo de no operatividad de la maquina sea el mínimo. Al hacer este procedimiento rápido, puede ocurrir que la empresa, mientras evalúa la maquina enviada al servicio técnico, proporcione una en *back up* mientras se repara la anterior, pero siempre y cuando exista disponibilidad de éstas.

1.2.2.2 Productos al final de su vida útil

Esta posiblemente sea la causa más común de producción de flujos inversos en cualquier organización, incluso es la causa principal del nacimiento de la logística reversa. Los flujos de productos generados al final de su vida útil se originan, en un mayor porcentaje, a partir de los consumidores.

Para el caso particular de dispositivos médicos, la vida útil técnica es entre cinco a ocho años, la cual viene dada por el fabricante del dispositivo, obtenida, mediante cálculos según su utilización. Es muy variable, ya que, por ejemplo, un monitor de signos vitales que se encuentra en la unidad de urgencias tendrá una mayor utilización que un monitor de signos vitales que se encuentra en médico quirúrgico, por lo que la vida útil del que se encuentra en urgencia (mayor demanda), será más corta que el que se encuentra en médico quirúrgico. Entonces, el fabricante da un periodo de vida útil de los dispositivos médicos en base a sus propios cálculos, pero este varía, según su utilización.

Todos los activos inventariables en un centro de salud, por reglamento del Ministerio de Salud para todas las entidades de salud pública y en algunos casos privadas, deben ser dados de baja (ejemplo, autoclaves, equipos de RX). Por lo tanto, todos los dispositivos médicos de un centro de salud son dados de baja, no necesariamente cuando estos cumplen su ciclo de vida, si no que cuando éstos queden inutilizables o, por ejemplo, los repuestos o las mantenciones de ciertos dispositivos

sean excesivamente costosas. Los encargados de dar de baja un equipo es la unidad de equipos médicos, comandados por el jefe de equipos médicos, el cual es el encargado de comunicar a la unidad de inventario que el equipo debe ser dado de baja y es esta unidad, mediante un diagnóstico previo que generalmente es realizado por la empresa distribuidora del equipo, quien decide si el equipo debe ser retirado o no y cuál será su disposición final. Luego que se decide que un dispositivo debe ser dado de baja, se le envía un informe técnico a la unidad que alberga estos dispositivos, por ejemplo, si es dado de baja un equipo de la unidad de Imagenología, se le debe informar mediante un informe técnico que el equipo será retirado y el encargado de esta unidad en particular, es quien debe emitir un segundo informe hacia la unidad de inventario, explicando que el equipo puede ser retirado, entonces la unidad de inventario va y retira su número de serie, para eliminarlo del inventario del hospital. Posteriormente, los dispositivos que son dados de baja deben ser llevados a una bodega, en la cual se almacenan todos éstos dispositivos.

Lo realizado por la unidad de recursos físicos de un centro de salud es acelerar el proceso de dar de baja algún dispositivo, sobre todo aquellos que se encuentran fuera de circulación o por orden del Ministerio de Salud, como por ejemplo, los antiguos termómetros de mercurio, los cuales ya no pueden ser utilizados en centros hospitalarios.

Una alternativa, actualmente en uso para los dispositivos médicos en un centro de salud, es el remate. No se considera una disposición final distintiva para cada equipo, todos los dispositivos deben ser rematados, o devueltos (si es que se compra mediante *leasing* o se encuentra en arriendo), desde un equipo de rayos hasta una máquina de anestesia. Este remate, no es realizado por un centro de salud de manera directa, es necesaria la presencia de un martillero público, el cual es gestionado por el centro correspondiente. Por lo tanto, la labor de un centro de salud es agrupar en lotes los dispositivos a rematar. La rentabilidad económica obtenida de estos remates no es elevada y los beneficios son del centro de salud en particular. Algunos de estos dispositivos son donados a fundaciones y universidades. También, es necesario mencionar que el costo de transporte asociado al traslado de estos dispositivos rematados es de la persona u empresa que se adjudicó tal remate.

Analizando la rentabilidad obtenida en los remates, como se mencionó anteriormente, se sabe que son superficiales en relación a la inversión. Muchas veces, se gasta más en mantención de éstos dispositivos, en comparación al precio al cual son

rematados. Tal vez, si los centros de salud cumplieren con la vida útil de los dispositivos médicos impuesta por el fabricante y éstos fuesen dados de baja aún en funcionamiento, se podrían obtener mayores beneficios económicos en los remates.

Posterior al remate, se desconoce el futuro de éstos o cual es su disposición final, pero es sabido que existen algunas empresas nacionales que se adjudican estos remates y los desarmen en partes o reparan algunos para ser vendidos en mercados secundarios. Este es el caso de la empresa *SIMS Recycling Solutions*, que se adjudica estos dispositivos en remate (sobre todo mamógrafos) por un precio muy inferior al valor original de fábrica, los refabrica y vende a precios reducidos en relación al original, pero muy superior al precio al cual se adjudicó estos dispositivos. Existen empresas extranjeras que vienen y compran estos dispositivos fuera de circulación y los refabrican o reutilizan, según sus criterios. Una de estas es la empresa india *Bet Medical*, la cual revende estos dispositivos en gran parte del mundo.

La obsolescencia es otro factor que afecta o acelera el fin de la vida útil de los dispositivos médicos, debido principalmente a la influencia que ejerce el progreso tecnológico en el equipamiento médico, al producir equipos más baratos, de menor volumen, más silenciosos y contruidos con materiales de mayor calidad.

Es necesario mencionar además, que el proceso de retirar dispositivos de una unidad hospitalaria en particular (UCI, Urgencias, etc.), consume recursos (tiempo, humanos, etc.), según el tamaño del equipo y la unidad en la que se encuentre. Es un proceso similar al implementado por el reglamento REAS para el retiro de los residuos hospitalarios, en donde se estipula que los contenedores de residuos de cada unidad deben ser retirados en horas de menos congestión.

En este estudio se considera la LR aplicada a los dispositivos médicos al final de su vida útil a partir de un centro de salud en estudio. Se busca determinar el mejor “partner” o socio estratégico para la Clínica Redsalud Mayor de Temuco encargado de llevar a cabo el proceso de LR para la clínica, considerando una serie de criterios y atributos relacionados a la disposición final de los equipos médicos al final de su ciclo de vida. Para esto se utilizarán herramientas MCDM o de toma de decisiones multicriterio, en particular, AHP, ANP y TOPSIS.

El centro de salud en estudio es la segunda entidad de salud privada más grande en complejidad de la región de la Araucanía, con más de 350 funcionarios, 102 camas disponibles para hospitalización (incluida unidad de paciente crítico), 7 pabellones quirúrgicos de alta complejidad, 35 consultas médicas, servicio de

imagenología de primer nivel con resonancia magnética y escáner CT y laboratorio de sangre.

A pesar de que existen muchos estudios realizados en base a la logística reversa, la aplicación de ésta en el ámbito de la salud es prácticamente inexistente en Chile y en gran parte de Latinoamérica.

Dado lo anterior, es necesario y posible que las instituciones de salud en Chile consideren de manera permanente no solo la gestión logística tradicional, sino también la gestión logística reversa respecto de sus dispositivos médicos y otros residuos generados en centros de salud, tales como los residuos biológicos, etc.



CAPÍTULO 2

Revisión Bibliográfica

En este capítulo se revisará la literatura relevante relacionada a la LR y su aporte a la resolución al problema del presente estudio. En primer lugar, se revisarán estudios relacionados con la confección de redes de LR o de bucle cerrado utilizando modelos matemáticos de programación lineal entera. En segundo lugar, se analizará la literatura disponible para estudios de LR relacionados, con la toma de decisiones referente a ubicación de instalaciones de recuperación como también, para la elección de socios estratégicos en la recuperación y disposición final, de sus productos.

2.1 Modelo Matemático (PLEM)

En Fakhrzad & Moobed (2010) se analiza el desarrollo e investigación de la LR, mediante un estudio bibliográfico y un modelo particular de decisión, que ayude a las personas involucradas o que trabajan en base a la LR a determinar la localización de instalaciones de tratamiento de productos devueltos al final de su ciclo de vida y/o a tomar la decisión si integrar o no alguno de estos centros. Se plantea que la LR es determinada a través de los siguientes procesos:

- Productos devueltos se transfieren y se recogen en los centros de acopio.
- Objetos recogidos son probados e inspeccionados en los centros de inspección.
- En centros de inspección se clasifican los artículos en remanufacturables, reciclables y desechos.
- Los objetos son transferidos a remanufactura, reciclaje o eliminación, de acuerdo con las categorías asignadas en los pasos previos.

Además del diseño de una red con las posibles localizaciones de las instalaciones, los autores generaron un modelo matemático y resuelven mediante un algoritmo genético (GA), para reducir todos los costos involucrados en el diseño de la red de LR basada en la localización de las instalaciones. Se consideran los costos fijos de: apertura, costo de transporte, ahorros otorgados por la integración de las instalaciones y los costos de distribución, los datos utilizados corresponden a instancias de pruebas. En general, este estudio busca dejar en evidencia la eficacia y eficiencia de

la aplicación de la LR en el proceso de recuperar productos al final de su ciclo de vida. Se aprecia que el costo de recuperar los productos puede ser reducido al determinar las mejores localizaciones y las respectivas asignaciones de las instalaciones a las cuales serán trasladados para su respectiva clasificación. Además, se manifiesta la importancia de la LR en el cuidado del medio ambiente y salud de las personas.

En el estudio de Kannan et al (2010) se propone un modelo de programación lineal entera mixta (MILP), con la finalidad de encontrar una solución óptima al problema de recuperación de baterías de ácido-plomo, ya que la disposición de éstas en aguas residuales, en tierra y aire está estrictamente prohibido, debido a su alto índice de contaminación. El objetivo de esta investigación es diseñar una red de cadena de suministro de bucle cerrado para la devolución de productos y las decisiones a tomar respecto de la adquisición de: materiales, producción, distribución, reciclaje y disposición. El modelo es solucionado mediante el software GAMS, con datos reales, el cual está diseñado para modelar problemas de optimización tanto lineales, no lineales o enteros mixtos, como en este caso. Además, se realiza un estudio de la bibliografía existente respecto a la LR, remarcando la importancia de la integración de la logística reversa, como parte de la logística tradicional en una organización. También comentan la importancia de la cadena de suministro de bucle cerrado actualmente en el mundo, con el aumento de las preocupaciones ambientales y las estrictas regulaciones en base a los desperdicios generados por un producto (baterías en este caso), desde su creación, su ciclo de vida y posterior a su vida útil.

En el estudio de Li-hong (2009) se proporciona un estudio de la LR aplicada a los residuos hospitalarios señalando, la importancia y relevancia de gestionar de buena manera estos tipos de residuos, para evitar problemas de contaminación al medio ambiente y riesgos para la salud. Los autores diseñan una red de LR para los residuos hospitalarios, en base a las localizaciones necesarias para recolectar estos materiales de manera eficiente. En el diseño de la red proponen cuatro hospitales y tres localizaciones orientadas a la recolección de estos residuos, que son:

- Tres centros de recogida
- Dos centros de procesamiento
- Una Fábrica

El flujo inverso de estos residuos proviene de diversos hospitales, los cuales envían sus residuos a cualquiera de los tres centros de recogida. Para solucionar esta red, utilizan un modelo de programación lineal entero mixto (MILP) con instancias de

prueba y reales, buscando minimizar los costos totales, respecto al destino de estos residuos encontrando, la mejor ubicación para localizar las instalaciones de tratamiento de los residuos.

Santibanez-Gonzalez & Luna (2012) diseñaron una red de LR, basada en un algoritmo de optimización a partir de un enjambre de partículas binarias (BPSO). Señalan que el diseño de una red de LR es un problema complejo y que está prácticamente inexplorado y subdesarrollado. Para la implementación del algoritmo, dividieron el enjambre en dos grupos elementales: el primero, guía la búsqueda de la mejor localización para las instalaciones de remanufactura y el segundo grupo define los flujos óptimos entre las instalaciones. Además, realizan una revisión de la legislación que rodea el tratamiento de productos al final de su ciclo de vida, como es el caso de la Europea *Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)* y *End of Life Vehicles (ELV)*, señalando la importancia de estas normas en la disposición final de los productos. También, realizan una revisión bibliográfica en donde analizan los documentos necesarios para realizar esta publicación, enfocando su búsqueda particularmente en dos tópicos. El primero de estos tiene relación con modelos de localización de instalaciones para la LR y la cadena de suministros y la segunda hace referencia a la búsqueda de un algoritmo evolutivo, en particular el algoritmo PSO (*Particle Swarm Optimization*). El modelo matemático propuesto por los autores busca minimizar los costos de montaje de las diversas instalaciones, encontrando un óptimo a través del software GAMS para instancias de prueba y reales.

Fleischmann et al (2001) presentan la importancia del diseño de una red logística en la cadena de suministro, orientada a las decisiones a tomar por las empresas a la hora de implementar un sistema de recuperación de los productos (Cadena de suministro de bucle cerrado). Se hace hincapié en las similitudes y diferencias en relación al diseño de una red logística directa o hacia adelante. Para este estudio, se plantea el diseño de una red logística, la cual se subdivide en dos partes: la primera, hace referencia a la acumulación y transmisión de productos utilizados hacia instalaciones de recuperación y la segunda a la comunicación entre las instalaciones de recuperación y los consumidores de productos reutilizables. Demuestran que entre estas dos etapas se aborda el proceso de transformación en convertir los productos utilizados en otros reutilizables, en otras palabras, la prueba, el grado y las etapas de reprocesamiento. Además, en este estudio los autores, realizan estudios de caso en diferentes organizaciones que disponen sistemas de LR como parte de la empresa, como

es el caso de IBM. También complementa en cierta forma, estudios realizados por el mismo autor en años anteriores, al agregar nuevas etapas en relación con: la recuperación de los productos y el diseño de LR. Por último, realiza una revisión bibliográfica en relación con el diseño de redes logísticas para el retorno de productos al final de su ciclo de vida.

El estudio de Bostel et al (2005) analiza el diseño, planificación y la optimización de redes de LR, mediante una revisión de aplicaciones, casos de estudio y modelos y técnicas propuestas para una eficiente aplicación de un sistema LR. Plantean un sistema logístico integrado, en donde se incluye el flujo directo y reverso de los productos. Para LR, plantean que esta debe poseer una serie de actividades, tales como: recogida, limpieza, desmontaje, comprobación y clasificación, almacenamiento, transporte y las operaciones de recuperación. Además, plantean que los sistemas de LR se pueden clasificar en varias categorías dependiendo de las características que se enfatizan. La clasificación más común es:

- 1- *Reutilización directa*: artículos devueltos pueden ser reutilizados directamente sin mayores operaciones sobre ellos.
- 2- *Refabricación*: los productos al final de su ciclo de vida, o que necesitan mantenimiento (por ejemplo, fotocopiadoras) se devuelven y algunas partes o componentes son refabricados para ser utilizados como si fuesen nuevos.
- 3- *Servicios de reparación*: productos defectuosos (como productos duraderos o equipos electrónicos) son devueltos y reparados en los centros de servicio.
- 4- *Reciclaje*: materias primas (tales como metal, vidrio y papel) se reciclan y, ya que esta operación se lleva a cabo a menudo por terceros especializados, se puede considerar un sistema de bucle abierto.

También realizan una completa y extensa revisión bibliográfica, con casos de estudio incluidos en relación al diseño y planificación de LR, en donde, además, incluyen los estudios realizados en relación a los diferentes modelos matemáticos, utilizados para optimizar y realizar de manera eficiente la incorporación de un sistema LR en cualquier organización, ya sea esta de fabricación de productos o de servicios.

Robinson (2009) realiza un estudio sobre la valoración y el impacto ambiental de los residuos electrónicos a nivel global en la actualidad y mediante una proyección a futuro. Señalan que la producción de residuos electrónicos en Europa, Estados Unidos y Australia, se encuentra entre los 20 a 25 millones de toneladas por año, mientras que en Latinoamérica, China y el Este de Europa, no existen cifras exactas, pero señalan que en

los próximos 10 años la producción de residuos electrónicos en éstos, debería tener un aumento significativo. Adicional a esto, realizan un análisis a los principales componentes con los que se fabrica gran parte de los artefactos electrónicos, colocando mayor énfasis en los componentes que representan una importante fuente de contaminación al medio ambiente y que sean perjudiciales para la salud de las personas; entre estos elementos, destacan el cobre, plomo, mercurio, litio y CFC. En base a esto, plantean la necesidad de que estos residuos reciban el tratamiento adecuado cuando llegan al final de su ciclo de vida, señalando que no basta con realizar un procedimiento de incineración, sino más bien, plantear una estrategia robusta con la idea de recuperar el valor de los componentes electrónicos, mediante el reciclaje. También, realizan un análisis de los artículos electrónicos que generan la mayor cantidad de residuos en el mundo y la comparan con la WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*), que impera en Europa.

En el estudio realizado por Pokharel & Mutha (2009) se plantea un diseño estratégico de una red LR, centrada en la refabricación utilizando nuevos y viejos módulos de producto. Además, señalan la importancia y beneficios que trae a las organizaciones, gestionar de manera eficiente la devolución de sus productos con el fin de reutilizar éstos, mediante su respectiva clasificación: reutilización, refabricación, reciclaje o eliminación, por lo que el valor máximo se puede lograr a partir de sus productos usados y no de la fabricación de nuevos productos a partir de materia primas nuevas. Mediante un análisis bibliográfico, analizan el diseño de una red LR en relación a los costos implicados en la gestión eficiente de la devolución de productos. Plantean un modelo matemático, donde buscan minimizar los costos asociados al tratamiento y disposición final de los productos fuera de uso, tomando en consideración una serie de supuestos (instancias de pruebas) para facilitar el análisis y obtener resultados acordes a lo esperado. En la función objetivo del problema se consideran, los costos de: transporte, inventario, eliminación y montaje, y por el lado de las restricciones se basan principalmente en la capacidad de las instalaciones. Para solucionar este modelo utilizan el software GAMS, el cual es un software diseñado para cualquier problema de optimización. Analizan tres posibles escenarios, en los cuales solo varía la cantidad de productos devueltos y todos los demás componentes, permanecen constantes, lo que les permite decidir cuál es el diseño LR, más conveniente para reducir costos.

En Eray Demirel (2016) abordan el tema de la LR aplicada a la industria automotriz en Turquía, donde buscan determinar mediante un MILP para el diseño de

una red de recuperación de los vehículos al terminar su vida útil, mediante la utilización, de datos reales e instancias de prueba. Los resultados obtenidos, demuestran que la cantidad de instalaciones a ubicar en la red y el costo del sistema aumentan, mientras que la cantidad de vehículos en deshufo aumentará en el futuro.

2.2 Herramientas Multicriterio

En el estudio de Barker & Zabinsky (2011) se busca un enfoque multicriterio jerárquico de toma de decisiones para los aspectos críticos, con respecto al diseño de una red de LR, mediante la utilización del modelo de proceso analítico jerárquico, el cual evalúa criterios y subcriterios, además de los costos y relaciones de negocio. Para este estudio, realizaron tres estudios de caso, relacionados a la refabricación y reciclaje de productos. La toma de decisiones del modelo se basa en las tres etapas fundamentales en el flujo inverso de los productos, que son: Recogida, Clasificación y Tratamiento, las cuales fueron planteadas por Barker & Zabinsky (2008).

En cada una de las tres etapas de flujo existen dos opciones de decisión y ocho posibles configuraciones, entre las cuales se elegirá la mejor. Lo que buscan los autores con este análisis es poder determinar la configuración óptima para el diseño de una red LR. Adicionalmente, realizan un análisis de sensibilidad considerando, cuál será la influencia de los distintos parámetros en cada caso de estudio, es decir si es sensible o no a las variaciones realizadas. También, realizan una revisión bibliográfica, sobre el modelo AHP usado para resolver este problema y los estudios relacionados al diseño de una red LR.

Sbihi & Eglese (2010) analizan los problemas que surgen en el área de la logística verde, la cual se preocupa de la producción y distribución de bienes de manera sustentable, teniendo en cuenta factores ambientales y sociales, en donde se consideran temas como: la LR, la gestión de residuos, ruteo de vehículos y la programación. Como alternativa a la resolución de los inconvenientes, que surgen a la hora de aplicar la logística verde, los autores proponen que éstos sean evaluados como un problema de optimización combinatoria y para ello realizan una revisión bibliográfica centrada en los nuevos modelos de investigación de operaciones, sobre temas como: la LR, la gestión de residuos, ruteo de vehículos y la programación. Se enfocan en encontrar un modelo, que no simplemente reduzca los costos económicos que involucra la aplicación de un sistema de logística verde, tal como se hace tradicionalmente sino que también, en minimizar, por ejemplo, el impacto ambiental y social generado por la producción de bienes y servicios. Básicamente el objetivo de este artículo es presentar, las últimas

publicaciones que existen en relación con cada uno de los temas mencionados anteriormente, en los cuales se involucra la gestión de la logística verde.

Queiruga et al (2008) analizan el tema de la localización e instalación de plantas de reciclaje de equipos Eléctricos y Electrónicos en España, ante la nueva normativa jurídica Europea (WEEE) que regula el tratamiento y disposición final de estos artefactos. Plantean un método de toma de decisiones multicriterio discreto, mediante la utilización del método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations), en conjunto a encuestas realizadas a expertos en el tema, con una trayectoria superior a los 2 años en este ámbito. El modelo planteado en este trabajo, basado en la toma de decisiones multicriterio, posee un objetivo global, el cual corresponde a determinar los factores que influyen en la localización de las plantas de reciclaje de residuos de equipos eléctricos y electrónicos. Posteriormente, se plantean objetivos específicos, en directa relación con el objetivo general, los cuales son: objetivos económicos, objetivos de infraestructura y objetivos legales y cada uno de estos objetivos, presentan una serie de alternativas, con sus respectivos pesos, según lo indicado por el método PROMETHEE (datos reales), los cuales fueron asignados, tal como se mencionó anteriormente, mediante encuestas realizadas a expertos. Finalmente formulan un listado de 20 posibles localizaciones de estas instalaciones de reciclaje, según lo obtenido a partir de la aplicación del método PROMETHEE.

Prakash (2016) busca evaluar y seleccionar a los socios o partners estratégicos en la implementación de un sistema de LR a través de un modelo combinado Fuzzy AHP (FAHP), para la industria electrónica en India, con datos de prueba reales. En el estudio plantean que la elección de este socio trae a la organización números beneficios en los costos y en la recuperación eficiente de los productos, pero al mismo tiempo debe estar alineado con los objetivos de la organización y por lo mismo, es que los criterios utilizados en esta metodología se centren en la cooperación, capacidad, compromiso y compatibilidad. Plantean siete criterios a evaluar y cada uno de estos con una serie de subcriterios en una primera etapa. La segunda etapa consiste en otorgar la calificación para determinar el peso de cada uno de los criterios utilizando FAHP. La calificación fue otorgada mediante la implementación de encuestas y en base a eso se determinó el peso de cada uno de los criterios. Por medio de la implementación del modelo FAHP logran determinar cuales son los mejores socios potenciales para procesos de LR en la industria electrónica en India.

En Wadhwa et al (2009) proponen un modelo MCDM para la toma de

decisiones basado en la teoría de los conjuntos difusos. En base al modelo planteado, proponen que este modelo podría facilitar la toma de decisiones a la empresas fabricantes de productos, referente al reciclado y remanufactura de sus productos. Además el modelo, permitiría tomar decisiones referente a las instalaciones de recuperación de sus productos o su disposición final. Para el modelamiento y resolución del problema utilizan la herramienta TOPSIS, en donde plantean un conjunto de criterios, en donde la clarificación o evaluación se lleva a cabo en varios niveles jerárquicos dentro de la organización. Los criterios seleccionados en el modelo son: el factor costo/tiempo, impacto ambiental, mercado, calidad y legal, los cuales cada uno de ellos van acompañados de una serie de subcriterios. Las alternativas planteadas son: Remanufactura, reciclaje, reparación, canibalización o deshuese y remodelación. Finalmente, solucionan este modelo con TOPSIS obteniendo buenos resultados, pero dejando en claro que el resultado obtenido no es del todo perfecto, pero es perfectamente utilizable para la toma de decisiones referente a la LR.

Büyüközkan et al (2012) plantean un modelo MCDM híbrido basado en tres herramientas: fussy DEMATEL, fussy ANP y fussy TOPSIS para el estudio de la cadena de suministro verde, en donde empresas como sus proveedores formen parte activa de esta cadena, evaluando su desempeño mediante características cualitativas como cuantitativas. Para el modelo plantean un conjunto de criterios enlazados para cada una de las herramientas de resolución, en donde encontramos criterios como: organizacional, financiera, calidad de servicios, tecnología y competencia ambientales, las alternativas planteadas son: Remanufactura, reciclaje, reparación, remodelación y residuo. Finalmente, los autores plantean que la utilización de MCDM híbridos son perfectamente utilizables para determinar el desempeño de los proveedores, cuando una organización se dispone a implementar un sistema de logística reversa (o verde), en donde el cuidado medio ambiental es la principal motivación.

En S.Senthila (2018) se estudian los riesgos asociados a un proceso de LR señalando que esta debe ser administrada por las organizaciones de manera efectiva para aumentar el beneficio. Por lo tanto, el objetivo del estudio es priorizar los riesgos existentes en la LR. Para esto, utilizan herramientas MCDM híbrido para priorizar los riesgos y se aplica a un caso de estudio para una empresa de plástico. Los resultados obtenidos, demuestran que un correcto inventario en el proceso de LR disminuye de manera considerable los riesgos en el proceso y que el impacto social generado por éste, viene determinado por la cooperación de los clientes.

El resumen de los tipos de problemas encontrados en la literatura y las herramientas utilizadas para resolver el problema de la LR, se puede observar en Tabla 3, en donde además se especifica si el problema fue tratado con datos reales o instancias de prueba.

Tabla 3: Resumen revisión bibliográfica. (Fuente: elaboración propia)

Cita	Tipo de problema	Herramienta de optimización o revisión	Datos reales	Datos de prueba
Fakhrzad & Moobed (2010)	LR	Modelo Matemático (GA)	–	X
Kannan et al(2010)	LD y LR	Modelo Mantemático (GAMS)	X	–
Li-hong (2009)	LR	Modelo Matemático (MILP)	X	X
Santibañez-Gonzales & Luna (2012)	LR	Modelo Matemático (BPSO)	X	X
Fleischmann et al (2001)	LD y LR	Revisión Bibliográfica	X	X
Bostel et al (2005)	LR	Revisión Bibliográfica	–	–
Robinson (2009)	LR	Revisión Bibliográfica	X	–
Pokharel & Mutha (2009)	LR	Modelo Matemático (GAMS)	–	X
Eray Demirel, (2016)	LR	Modelo Matemático (MILP)	X	X
Barker & Zabinsky (2011)	LR	MCDM (AHP)	X	X
Sbihi & Eagles (2010)	LR	Revisión Bibliográfica	X	–

Queiruga et al (2008)	LR	MCDM (PROMETHEE)	X	–
Prakash (2016)	LR	MCDM (FAHP)	X	–
Wadhwa et al. (2009)	LR	MCDM (TOPSIS)	X	–
Büyüközkan et al. (2012)	LR	MCDM (hibrido)	–	X
S.Senthila (2018)	LR	MCDM (hibrido)	X	–

A partir de la Tabla 3, se observa que existen muchos estudios relacionados a la LR, pero es prácticamente inexistente la aplicación de esta en los dispositivos médicos y en los contraos de salud en general.



CAPITULO 3

Marco Teórico

En esta sección se analizará el concepto y evolución de la Logística y la LR, en base a la revisión bibliográfica realizada. Se definirán los criterios para clasificar los flujos existentes en la LR, así como los elementos que componen las redes en LR.

Realizar un análisis de estos conceptos es necesario para comprender y fundamentar teóricamente el estudio realizado en este trabajo. Por otro lado, es importante que el lector, pueda comprender sin mayor dificultad la metodología planteada para resolver el problema de la LR para dispositivos médicos en centros de salud.

También, se hará una revisión de los métodos propuesto para resolver el problema de la LR en dispositivos médicos, los cuales son: AHP, ANP y TOPSIS.

3.1 Logística y Logística Reversa

El concepto de logística, tal como lo conocemos en la actualidad, tiene su origen en el campo militar ya que, mediante este concepto, se definían los movimientos y la distribución de víveres para las tropas en campaña, principalmente durante la II Guerra Mundial. Obviamente, desde su origen en el campo militar, el concepto logístico ha sufrido una serie de cambios muy importantes en cuanto a su definición, su dimensión respecto a las actividades que abarca, etc.

Desde la década de los 60 en adelante, el concepto de logística comenzó a considerarse como una parte de la gestión empresarial, sobre todo en el ámbito de la gestión de la distribución física. Posteriormente, se comienza a integrar el manejo de costos y la provisión de servicios, al problema primario del transporte de un bien.

Durante los años 70, se comienza a introducir una de las primeras definiciones de la logística como tal, en donde se define esta como: *“enfoque global para la gestión de todas las actividades relacionadas con la adquisición, movimiento y almacenaje de materias primas, productos intermedios y productos terminados desde el punto de origen hasta el de uso o consumo”* (La Londe, Grabner, & Robeson, 1971).

En la actualidad existen muchas definiciones de logística, de las cuales solo citaremos dos, debido a la importancia y/o relevancia de las organizaciones que promulgan estas definiciones. La primera de ella es la definida por *The Council of Supply Chain Management Professionals*, en Estados Unidos, la cual define la logística

como: “*el proceso de planificar, implementar y controlar, de una manera eficiente, el flujo de materias primas, inventarios en curso, productos terminados, servicios e información relacionada, desde el punto de origen al punto de consumo, con el fin de satisfacer las necesidades del cliente*”. La segunda, es la definida por *The European Logistics Association*, la cual define la logística como: “*la organización, planificación, control y ejecución del flujo de bienes desde el aprovisionamiento, pasando por la producción y la distribución, hasta el cliente final con el fin de satisfacer los requerimientos del mercado al mínimo coste y con la mínima inversión*”. Al analizar ambas definiciones, vemos que ambas coinciden en algunos aspectos que engloba el concepto de logística, tales como admitir a la logística como un proceso de gestión, el ámbito de aplicación y la orientación eficiente al cliente final.

Durante la década de los 90, el término al cual se asocia la logística, denominada “cadena de suministros” a fines de los años 80, fue abordado en términos más amplios, llamándola “red de suministro”, con la cual se busca salir del concepto de linealidad de la cadena de suministro hacia otro más abierto. Gracias a esta apertura del concepto de logística se han generado nuevas actividades logísticas y productivas, de las cuales se encarga una nueva rama de la logística, denominada “Logística Reversa” o “aguas arriba”, señalando con este nuevo concepto, el proceso que se ocupa del flujo inverso de materiales, información, etc., dentro de la red de suministro.

El concepto de la LR es nuevo, sin embargo, en la actualidad ha crecido el interés, en las actividades que engloba este proceso, ya sea por motivos ecológicos, legislativos o económicos, lo cual ha generado que numerosos investigadores de diversas áreas se interesen en estudiar este proceso. Si bien, el concepto “logística reversa” como tal, apareció durante la década de los noventa, ya desde los años 70 aparecieron las primeras investigaciones relacionadas a la recuperación y reutilización de los productos fuera de uso, en donde se buscaba determinar los canales de distribución para el reciclaje, los actores implicados en estos canales, etc. Después de este periodo, no existen muchos estudios respecto a la LR, sino que hasta los años 90, en donde el término es aceptado como parte importante de la cadena de suministro. Al ser una rama de la logística relativamente nueva, no existe un concepto universalmente aceptado para el proceso de LR, pero podemos decir que todas las definiciones existentes presentan características en común, respecto a los actores o escenarios presentes en la LR. Dentro de las definiciones más destacadas, podemos citar nuevamente al *The Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP)*, el

cual, para el año 2003, ya incluía términos de la LR en su definición de logística: “Es una parte del proceso de la cadena de suministros que planea, implementa y controla el eficiente y efectivo flujo y almacenamiento hacia adelante y en inversa de bienes, servicios e información relacionada del punto de origen al punto de consumo con el propósito de satisfacer los requerimientos del cliente”. En esta definición, se puede observar claramente el interés por parte de las organizaciones, de los flujos inversos o de retorno. Anteriormente, (Rogers & Tibben-Lembke, 2001), describen el proceso de LR como: “los procesos de planificación, implementación, y control de forma efectiva y eficiente del flujo de materia prima, productos intermedios, bienes finales e información relacionada desde el punto de consumo al punto de origen con el propósito de capturar valor o disminuir la eliminación.” Por otro lado, la *Reverse Logistic Executive Council*, define la LR como: “El proceso de mover bienes de su destino final típico a otro punto, con el propósito de capturar valor que de otra manera no estaría disponible, para la disposición apropiada de productos”. En esta definición, podemos ver claramente la introducción del concepto recuperación del valor de los componentes de la cadena de suministros.

Las principales diferencias entre la Logística y la LR, se muestran a continuación:

Tabla 4: Diferencias entre la Logística y la LR (Fuente: Tibben-Lembke, 2002)

Logística Directa	Logística Reversa
Calidad del producto uniforme	Calidad del producto no uniforme
Precio relativamente uniforme	Precio depende de muchos factores
Reconocida importancia a la rapidez de entrega	A menudo no es importante la rapidez en la entrega
Los costos son claros y monitoreados por sistemas de contabilidad	Los costos inversos son menos visibles y rara vez se contabilizan
Gestión de inventario relativamente sencilla	Gestión de inventario muy compleja
Ciclo de vida del producto gestionable	Ciclo de vida del producto más complejo
Métodos de marketing bien conocidos	El marketing puede estar complicado por varios factores

De la Tabla 4 podemos destacar los sistemas de distribución, ya que éstos

difieren en cuanto al número de puntos de origen y de destino, considerando que la logística directa generalmente es el movimiento de productos de un origen a muchos destinos, mientras que el movimiento inverso de un producto es el contrario, de muchos orígenes a un solo destino.

Los atributos de la LR han sido definidos por numerosos autores especializados en esta área. Los planteados por (Dowlatshahi, 2000), en relación a los objetivos de la LR por parte de la empresas, son divididos en: estratégicos y operacionales, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 5: Atributos de la LR (Fuente: Dowlatshahi, 2000).

Estratégicos	Operacionales
Incremento del nivel de servicios ofrecido al cliente	Transporte, el cual representa los mayores costos en LR.
Mejora la imagen de la empresa en el mercado	Almacenaje, ya sea privado o Subcontratado
Aumento de la rentabilidad	Gestión de Aprovisionamiento
Reducción de costos Estratégicos	
Disminución de ciclos de producción	
Cumplimiento de la legislación Específica	
Mantener estándares de calidad	



Uno de los principales atributos que se aprecian en la Tabla 5 tiene relación con los costos de transporte, ya que representan la mayor inversión si es que se desea implementar un sistema de LR. Es por esto que, en la literatura, se han planteado una serie de modelos matemáticos, con el objetivo de minimizar los costos fijos y variables (incluyendo costos de transporte), implícitos en el proceso de LR.

Los objetivos de la LR más destacados en la literatura son:

- a) Reducción de la cantidad de residuos generados
- b) Mejor utilización de los recursos
- c) Protección medioambiental

- d) Reducción de áreas destinadas a vertederos y
- e) Extensión del ciclo de vida del producto e incremento de la cuota de mercado.

Al analizar estos objetivos planteados en la literatura, vemos que la reducción de la cantidad de residuos generados, para el caso de un centro de salud, se traduce en un gran beneficio, tanto económico, como medioambiental, debido a que se reduce los posibles riesgos de contaminación, al ser el productor quien se haga cargo de la retirada y disposición final de los productos y a la vez, reduce los costos implícitos en la eliminación de residuos de un centro de salud, al buscar proveedores comprometidos con la LR. El extender el ciclo de vida del producto beneficia completamente al productor, ya que puede reciclar o refabricar sus productos a partir de aquellos que cumplen con su vida útil.

Los actores que participan en el proceso de LR se dividen en internos y externos, en donde los internos corresponden a las empresas y los externos corresponden al gobierno y los grupos de interés, consumidores, proveedores y competidores.

3.2 MCDM Herramientas multicriterio

El MCDM surge como herramientas de la investigación de operaciones para dar solución a problemas multicriterio, la cual considera la opinión de decisores. Las técnicas de MCDM se han transformado en importantes técnicas de solución para problemas de decisión en distintas organizaciones, en donde se han desarrollado varios métodos para su implementación, bajo diversas circunstancias.

Unos de los métodos más utilizados en la actualidad es el Proceso Analítico Jerárquico AHP desarrollado por Saaty (1996), ANP o Procesos analítico en red desarrollado por Saaty, TOPSIS o *Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution* desarrollado por Hwang & Yoon (1981), entre varias otras.

3.2.1 AHP

El método AHP es una herramienta que utiliza una estructura jerárquica multicriterio, que permite cuantificar opiniones de todos los miembros del equipo de evaluación, permitiéndoles visualizar información de los problemas.

Esta metodología permite al evaluador estructurar la información relevante de un problema en particular de manera jerárquica, establecer prioridades entre los elementos que componen la estructura mediante entrevistas o cuestionarios a expertos relacionados

con el problema a desarrollar, los cuales se cuantifican y por último analizar la consistencia (razón de consistencia) de las opiniones generadas en las etapas anteriores, para así obtener una prioridad global.

En general, la metodología AHP es bastante conocida y muy utilizada por diversos autores. Este método multicriterio fue implantado por Thomas L. Saaty en el año 1980 y, desde esta fecha en adelante, se han publicado una serie de artículos y libros, en donde se hace referencia a la metodología AHP. Algunas publicaciones más reciente, como *Decision Making With The Analytic Hierarchy Process* (Saaty, 2008), presenta una serie de pasos a seguir para realizar la evaluación de manera organizada. Los pasos planteado en Saaty (2008) son:

1. Definir el problema y determinar qué tipo de conocimiento se busca.
2. Estructurar las decisiones jerárquicas, partiendo de una meta global, luego los objetivos desde una amplia perspectiva, desde los niveles intermedios hasta los niveles más bajos, en donde se encuentra un conjunto de alternativas de decisión.
3. Construir las matrices de comparación por pares, comparando los elementos que se encuentran en un nivel superior, con los que están inmediatamente debajo de estos.
4. A cada elemento, se le otorga un peso luego de obtener las prioridades, para que sean comparadas con el nivel inferior a esta. Posteriormente, en los niveles inferiores, se deben agregar estos valores (los pesos) y obtener una prioridad global. El proceso debe continuar hasta que se obtengan las prioridades del último nivel.

Para elaborar el ranking o puntuación del método AHP, (Saaty, 2008) plantea una escala que representa la importancia o preferencia entre criterios. Esta escala se observa en la Tabla 6, la cual contiene en sus columnas el ranking o valor de preferencia, la intensidad de una alternativa por sobre la otra y el significado de cada valor.

Tabla 6: Escala fundamental del método AHP (Fuente: Saaty, 2008)

Valor de preferencia o importancia	Definición o Intensidad	Significado
1	Igual Importancia	Dos actividades contribuyen de manera igualitaria al objetivo
3	Importancia Moderada	Experiencia y juicio ligeramente favorable para una actividad por sobre la otra
5	Importancia Fuerte	Experiencia y juicio fuertemente favorable para una actividad por sobre la otra
7	Importancia muy Fuerte	Una actividad se ve muy fuertemente favorecida por sobre la otra; su predominio se demuestra en la practica
9	Importancia Extrema	La evidencia que favorece una actividad por sobre la otra es del más alto nivel posible

Los números faltantes en la Tabla 6 representan puntos intermedios en la escala, es decir, los números 2, 4, 6 y 8. Por otro lado, es necesario mencionar, que para completar las tablas de comparación por pares entre criterios, también se utilizan los valores recíprocos a los mencionados en la Tabla 6, es decir, si una actividad i tiene un número no nulo asignado durante la comparación con la actividad j , entonces a la actividad j se le asigna el valor inverso multiplicativo cuando se compara con la actividad i .

3.2.2 ANP

A diferencia del método AHP, el método ANP se basa en la incorporación de relaciones de interdependencia y realimentación entre los elementos de un mismo sistema, mientras que el AHP son linealmente dependientes (Saaty, 2005). Por otro lado, en la metodología ANP no es necesario diferencia distintos niveles jerárquicos, ya que permite obtener una representación del problema de decisión en un entorno

complejo con una estructura en red y no una estructura jerárquica. En la Figura 3 se muestra la estructura general del método AHP y ANP.

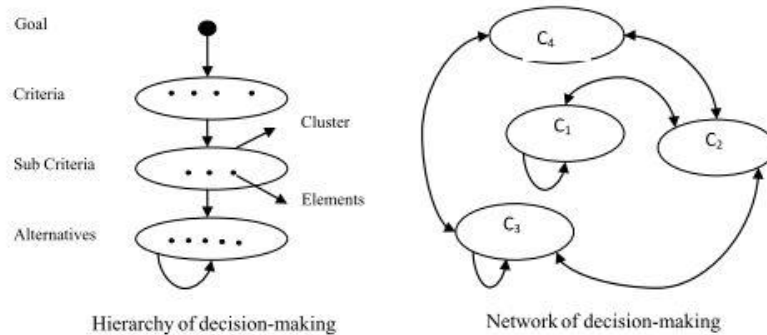


Figura 3: Diferencia entre AHP y ANP.

Fuente. *Using Analytic Network Process en una toma de decisiones.*

Para el método ANP se debe realizar, los siguientes pasos:

1. Formulación del problema de decisión: Estructuración del problema y construcción de la red.
2. Juicios: construcción de las matrices de alcance global y local, comparaciones par a par de elementos y clusters, verificación de la consistencia de los juicios y obtención de los vectores de prioridades y matriz de peso de los clusters.
3. Desarrollo algebraico: construcción de la super matriz sin pesos, verificación de la bolsa de la super matriz ponderada, obtención de la matriz limite y el resultado final.

De acuerdo con Saaty (1999), el ANP "*resume el efecto de la dependencia y la retroalimentación dentro y entre los conjuntos (agrupaciones) Elementos*". Una red es una estructura no lineal que se expande en todas las direcciones.

3.2.3 TOPSIS

El análisis TOPSIS, *Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution* (Hwang & Yoon, 1981) es ampliamente utilizado debido a su simplicidad y porque logra la obtención de resultados en un menor tiempo en relación a otros métodos como el AHP y ANP. Este método busca establecer un orden en las alternativas utilizando la idea de distancia a la alternativa ideal y a la alternativa anti-ideal, es decir, busca una solución positiva Ideal (SPI) y una solución negativa ideal (SNI), en donde

estas deben tener la menor distancia a la solución ideal (SIP) y la mayor distancia a la a solución anti-ideal (SIN)

A diferencia de los métodos AHP y ANP, los tomadores de decisión deben evaluar la importancia de cada alternativa respecto a cada criterio (sin comparaciones pareadas como en el AHP), según la escala planteada por Saaty (2008) (Tabla 6).

Para la aplicación del método TOPSIS se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

1. Obtener la matriz de decisión de alternativas respecto a los criterios.
2. Calcular el vector de pesos globales para cada criterio.
3. Calcular la matriz estandarizada de pesos.
4. Calcular las soluciones ideales positivas (SPI) y las soluciones ideales negativas (SNI).
5. Calcular la distancia de cada alternativa respecto a SPI y SNI según cada criterio.
6. Calcular el coeficiente de cercanía de cada alternativa.
7. Ordenar las preferencias.



CAPITULO 4

METODOLOGÍA

A partir de la revisión bibliográfica y marco teórico, se propone una metodología para resolver el problema de LR de dispositivos médicos en centros de salud. La metodología considera básicamente herramientas multicriterio, para determinar al mejor proveedor o socio estratégico para el retiro de dispositivos médicos fuera de su vida útil, en un centro de salud.

Primero, se propone un modelo cualitativo a resolver, mediante: AHP, ANP y TOPSIS, considerando la opinión de los diferentes “actores” logísticos de un centro de salud y de los desarrolladores de la metodología. Para el modelo se consideran diferentes criterios y alternativas que, para realizar LR, puede presentar un centro de salud. Posteriormente, el método AHP es resuelto mediante el *software Expert Choice*. El método ANP mediante el *software Super Decisions* y el método TOPSIS usando planillas de cálculo.

Cada método por utilizar en este estudio es detallado en las próximas secciones del presente capítulo. En la Figura 4 se muestra un esquema que representa la metodología propuesta para este estudio, compuesta por tres herramientas basadas en MCDM.

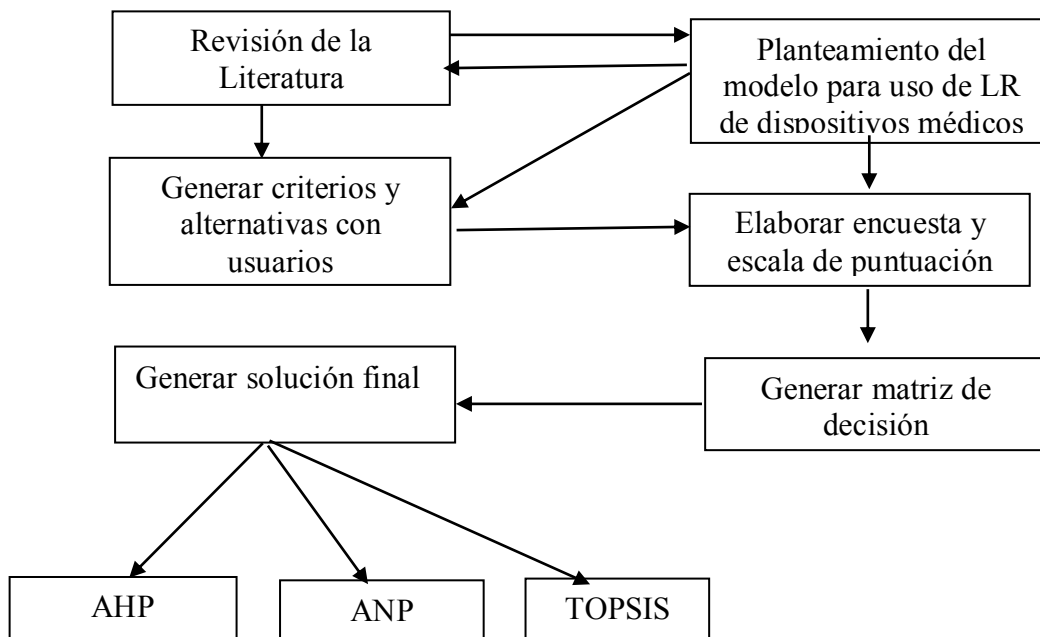


Figura 4: Esquema de metodología usada (fuente propia)

A continuación, se revisará por separado los criterios y las alternativas, con sus respectivos *rankings* tanto para AHP/ANP y TOPSIS, mediante encuestas realizadas a los usuarios. Los expertos considerados para realizar la puntuación, según la escala propuesta por Saaty (2008), son:

- Gerente General centro de salud
- Jefe de Operaciones centro de salud
- Subgerente de Adm. y Finanzas centro de salud

Las puntuaciones obtenidas (Anexo A y B matrices de comparación) fueron respondidas y ponderadas por todos los decisores a la vez, para unificar conceptos y ponderaciones.

4.1 Descripción del modelo Jerárquico

En base a la revisión realizada a la literatura disponible referente a la LR, se determinaron los criterios y alternativas considerados en este estudio para lograr el objetivo de determinar el mejor proveedor o socio estratégico para implementar un sistema de LR en el centro de salud en estudio.

En total se obtienen 10 criterios, de un total de 16 propuestos y definidos, por los decisores que evalúan y son:

- Precio/Costo
- Impacto Ambiental
- Calidad de las instalaciones
- Servicio al cliente
- Recursos disponibles
- Tiempo y flexibilidad en los retiros
- Aspectos legales/administrativos
- Ubicación geográfica
- Reciclaje/reutilización
- Capacidad financiera

A continuación, se proporciona justificación a cada uno de los criterios seleccionados.

- Precio/costo: corresponde al análisis del precio/costos presupuestados por las empresas que participan en la licitación. El objetivo de este criterio es disminuir costos.

- Impacto ambiental: se refiere directamente al tratamiento realizado a los dispositivos médicos por las empresas encargadas del retiro de éstos, con el mínimo impacto ambiental.
- Calidad de las instalaciones: corresponde a las instalaciones de las empresas licitantes, verificando que se encuentren correctamente certificadas ante la SEREMI de salud.
- Servicio al cliente: se refiera a la forma en que las empresas responden a las diferentes solicitudes realizadas por el centro de salud, basándose en experiencias en otros centros.
- Recursos disponibles: verificar si la empresa dispone de recursos físicos suficientes para realizar el retiro y disposición final de los equipos sin uso.
- Tiempo y flexibilidad de los retiros: verificar cuántos retiros realiza cada una de las empresas a la semana, para reducir al máximo el almacenamiento de dispositivos médicos fuera de su vida útil.
- Aspectos legales/administrativos: verificar autorización sanitaria para el funcionamiento de cada una de las empresas.
- Ubicación geográfica: corresponde a la verificación de donde se localizan sus instalaciones, de esto depende el número y frecuencia de retiros a la semana y costos asociados al transporte.
- Reciclaje/reutilización: corresponde a las prácticas de reciclaje o recuperación (logística verde) de productos fuera de su vida útil, de empresas licitantes.
- Capacidad financiera: solvencia económica presentada por la empresa mediante estados financieros y grado de endeudamiento.

Para el caso de las alternativas, se consideran solo tres, porque son tres las empresas licitantes para el caso de estudio. Estos serán denotados por:

- Proveedor 1: A
- Proveedor 2: B
- Proveedor 3: C

Por confidencialidad no se proporcionará la identificación de las empresas.

Por lo tanto, considerando el objetivo, los criterios y las alternativas a considerar se puede disponer del modelo jerárquico presentado en la Figura 5, donde cada uno de los criterios se relaciona con cada una de las alternativas.

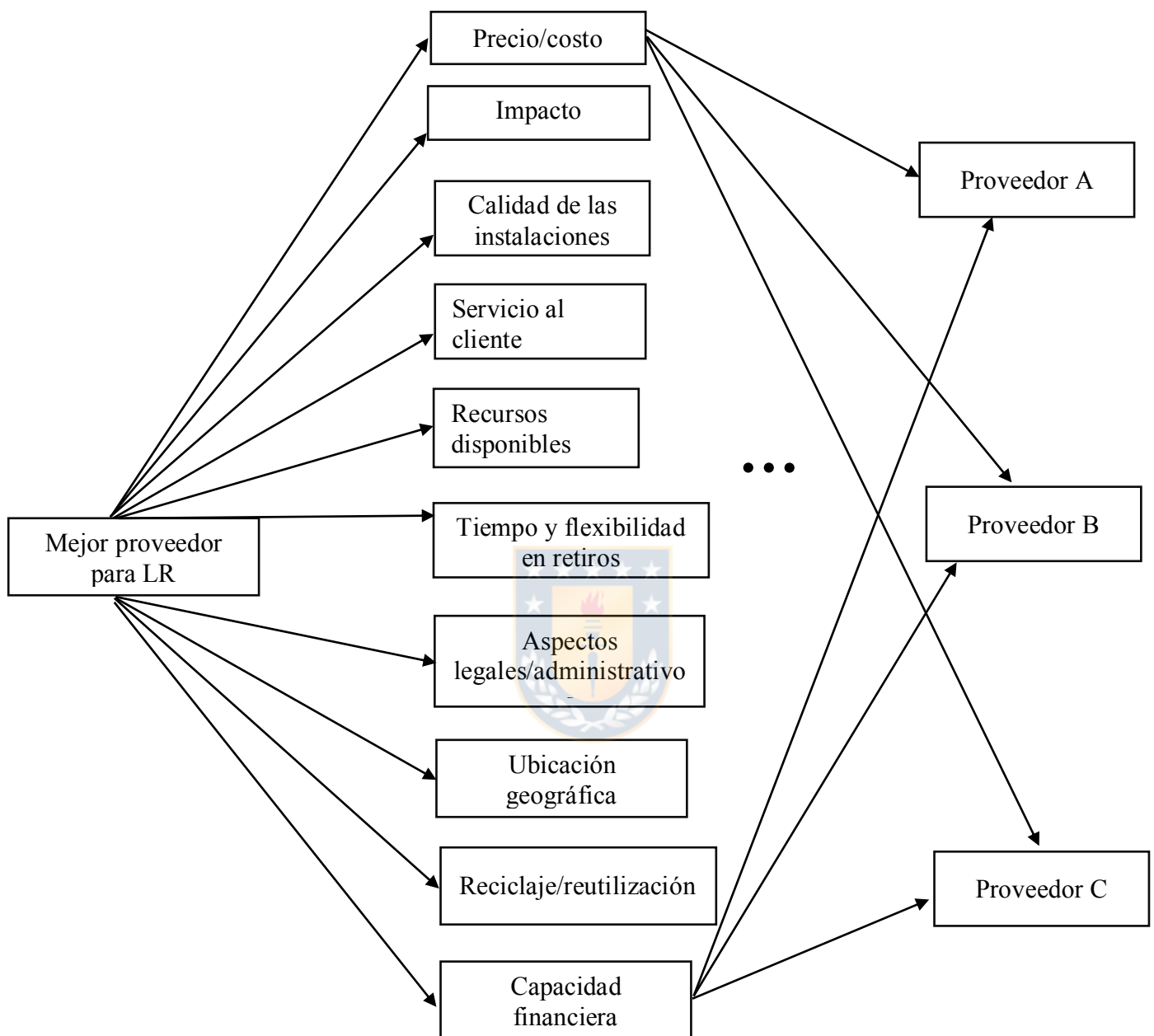


Figura 5: Esquema jerárquico del estudio.

4.2 Análisis AHP

Utilizando el modelo jerárquico presentado en Figura 5, se identifican la meta u objetivo a lograr, criterios considerados y alternativas disponibles para este caso de

estudio. Se aplica el método AHP para solucionar el problema de la LR en el centro de salud en estudio y mediante el *software ExpertChoice*.

Los pasos por seguir para resolver el problema mediante esta metodología se enumeran a continuación:

Paso 1: Establecer las prioridades para cada criterio y alternativa

En este paso, se requiere establecer las prioridades para cada uno de los criterios y alternativas. Los encargados de dar esa prioridad son los ejecutivos que participan en el proceso (ver anexo A). Para la elaboración del ranking, se considera la escala propuesta por Saaty (2008), según Tabla 6, en donde se compara la importancia relativa de un elemento respecto a otro. El valor máximo utilizado, a partir del ranking es 6, es decir, el elemento que posee la mayor importancia tiene un valor igual a 6 y con igual importancia es igual a 1. Los otros valores son intermedios entre 1 y 6, en relación con la importancia de cada uno.

La notación utilizada para cada uno de los criterios es C_n , donde n corresponde el número del criterio, que en este es $n= 10$. Para el caso de las alternativas, la notación utilizada es de A, B y C que corresponde a cada uno, de los tres proveedores que participan en la licitación. En Tabla 7, se puede observar cómo quedaría cada criterio con su respectiva sigla.

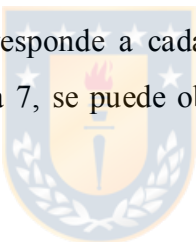


Tabla 7: Notación para cada criterio y alternativa. (Fuente: elaboración propia)

Criterios / Alternativas	Notación
Precio/costos	C_1
Impacto Ambiental	C_2
Capacidad de las instalaciones	C_3
Servicio al cliente	C_4
Recursos disponibles	C_5
Tiempo y flexibilidad en retiros	C_6
Aspectos legales/administrativos	C_7
Ubicación geográfica	C_8
Reciclaje/reutilización	C_9
Capacidad financiera	C_{10}
Proveedor A	A
Proveedor B	B
Proveedor C	C

Paso 2: Establecer matrices de prioridades

Con la información recopilada, se crea una matriz de comparación por pares, en donde los valores mencionados representan, la fuerza con que un elemento domina a otro respecto a un criterio establecido. Entonces, se obtiene la matriz A de dimensiones $m \times n$ (ecuación 1.1) donde a_{ij} representa, la prioridad entre el factor i sobre el factor j y los valores de la mitad inferior respecto a la diagonal (valores recíprocos) corresponden a los valores inversos de la mitad superior ($a_{ji} = 1/a_{ij}$), siendo $a_{ij} = 1$ cuando $i = j$.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Posteriormente, se debe normalizar cada una de las matrices de comparación por pares para determinar el vector de prioridad o pesos. Para normalizar las matrices de debe dividir cada elemento de la columna j por la suma de todos los elementos de dicha columna (ecuación 1.2) y luego, estimando un vector de pesos, promediando cada fila de la matriz normalizada (ecuación 1.3) indicando la importancia relativa de cada factor en un rango entre 0 y 1.

$$X_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1.2)$$

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{n} \quad (1.3)$$

En donde: X_{ij} representa, el valor de la matriz normalizada y W_i representa, el vector de prioridad.

Paso 3: Comprobar la consistencia de los juicios

Como la evaluación por parte de los decisores es subjetivo, puede existir inconsistencia en éstos, los cuales aparecen cuando existen contradicciones en las matrices de comparación por pares. Es por esto que se debe medir el grado de consistencia de los juicios, para tratar que sea lo mas bajo posible y no obtener inconsistencias.

El índice de consistencia (IC) mide, la consistencia de la matriz de comparación por pares y se calcula, según ecuación (1.4):

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1.4)$$

En ecuación (1.4): λ_{max} representa la medida de consistencia

Para calcular λ_{max} se usan las ecuaciones (1.5) y (1.6):

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Cv_1 \\ Cv_2 \\ Cv_3 \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n Cv_{ij}/W_i \quad (1.6)$$

Una vez obtenido el IC, se debe calcular la razón de consistencia RC, la cual se obtiene a partir de la ecuación (1.7):

$$RC = IC/IA \quad (1.7)$$

En donde: IA es una matriz aleatoria de orden n , se obtiene dependiendo, del tamaño de la matriz (n) (Tabla 8).

Tabla 8: Valores de IA según n (Fuente: Saaty, 2014)

n	1	2	3	4	5	6	7	8
IA	0	0	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404
n	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	1,452	1,484	1,513	1,535	1,555	1,570	1,583	1,595

Dado que:

- Si $RC = 0$, la matriz R, es consistente
- Si $RC \leq 0,10$ la matriz R, es consistente por ende el vector de pesos es admisible.
- Si $RC > 0$, la matriz R, es inconsistente por ende se debe revisar los juicios.

Paso 4: *Determinar el vector de prioridad global*

Una vez determinados los pesos, de cada una de las matrices de comparación por pares de los criterios respecto al objetivo y de las alternativas respecto, a cada uno de los criterios, se determina el vector de prioridad global. En el caso de estudio, solo

tenemos criterios y alternativas, el vector de prioridad global se calcula, mediante la multiplicación del vector de prioridad de cada alternativa respecto, a los criterios por el vector de prioridad de cada criterio, respecto al objetivo.

Denotamos al vector de prioridad de cada alternativa respecto, a los criterios como W_a y al vector de prioridad, de cada criterio respecto al objetivo como W_b . Por lo tanto, para calcular el vector de prioridad global se debe utilizar la ecuación (1.8) y W_T representa el vector de prioridad global.

$$W_T = [W_a \times W_b] \quad (1.8)$$

Para el caso de estudio, la metodología AHP se resuelve mediante *ExpertChoice*, el cálculo de estos pasos mencionados es automático y los cálculos y matrices obtenidas se observan en anexos y resultados.

4.3 Análisis ANP

A diferencia del método AHP, la metodología ANP permite incluir, relaciones de interdependencia y realimentación entre elementos del sistema, puede ser de manera vertical y horizontal, mediante la creación de “clusters” o grupos, los decisores deben elaborar una puntuación (similar a la de AHP) entre dos elementos o clusters.

En nuestro caso de estudio, es considerada la red planteada en Figura 6, se aprecia la interrelación que existe entre criterios (dentro de un mismo cluster).

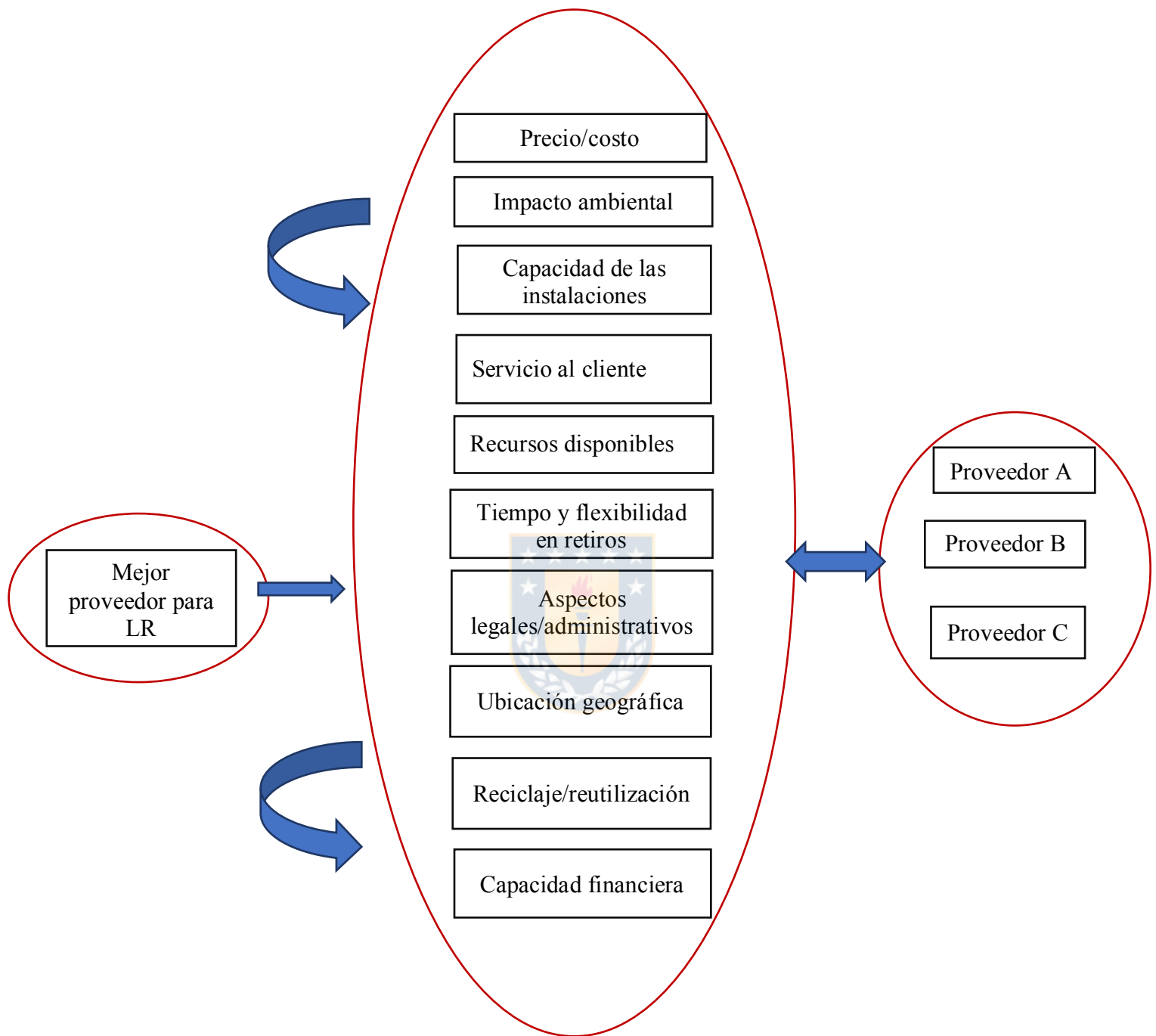


Figura 6: Modelo en red para ANP del caso de estudio.

En la Figura 6, se observa que la red, está compuesta por tres *clusters*, denominados como G_1 , G_2 y G_3 , con el objetivo, los criterios y las alternativas. Vemos, además que el cluster que presenta interrelación entre si es el cluster que abarca, a los

criterios y que el cluster de las alternativas se relaciona, con al cluster de los criterios o sea existe relación entre criterios y de alternativas, respecto a los criterios, entonces se debe comparar mediante comparación, por pares al igual que en AHP, para determinar su vector de prioridad o pesos.

Una vez determinada la red (Figura 6), debemos seguir los siguientes pasos para resolver:

Paso 1: Determinar la matriz de dominancia interfactorial

Para determinar la matriz de dominancia, el decisor analiza la influencia entre los elementos del sistema de manera de indicar la influencia en una matriz y se expresa, la influencia colocando un 1 cuando si existe influencia y un 0 cuando no existe. Se obtiene una matriz de relaciones, en donde se observa la influencia entre las alternativas y criterios. Para nuestro caso, la matriz de dominancia fue determinada por los tres decisores y los resultados se observan en la Tabla 9. Esta matriz de relaciones informa las influencias que existen entre los *clusters*. Al considerar un criterio en columna, por ejemplo, el C3 se observa que sobre ese elemento influyen, los elementos del sistema A, B, C, C5, C6 y C9. Si se observa un criterio por filas, por ejemplo, el C2, se tiene que los elementos del sistema sobre los que influye este criterio, en el caso de estudio, son los elementos A, B, C, C7, C8 y C9.

Tabla 9: Matriz de dominancia interfactorial (Fuente: elaboración propia)

G_3				G_2									
A	B	C		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
A	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C_1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
C_2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
C_3	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
C_4	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
C_5	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
C_6	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1
C_7	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
C_8	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1
C_9	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
C_{10}	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0

Paso 2: Determinar la Supermatriz original

Una vez determinada la matriz de dominancia interfactorial debemos trasladar esa matriz a una nueva matriz, denominada supermatriz. La estructura de esta supermatriz se debe realizar mediante la ecuación (1.9) donde, las prioridades globales están determinadas por el vector W , que deben ser ingresados en la supermatriz, en las columnas que corresponda.

La supermatriz se encuentra dividida en segmentos, los cuales representan la relación entre dos clusters y sus nodos.

Los vectores de pesos locales son agrupados y colocados, en sus posiciones en la supermatriz basado, en el flujo o influencia de un clúster sobre otro, o de un clúster a si mismo (como un "loop"). Sean C_k , los *clúster* de un sistema de decisión para $k = 1, 2, \dots, n$ y cada clúster k , tiene m_k elementos, denotados como $e_{k1}, e_{k2}, \dots, e_{kmk}$, la supermatriz obtenida se obtiene en la ecuación (1.9).

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c}
 C_1 \\
 e_{11} \ e_{12} \ \dots \ e_{1m_1} \ \dots \ e_{k1} \ e_{k2} \ \dots \ e_{k \ m_k} \ \dots \ e_{n1} \ e_{n2} \ \dots \ e_{n \ m_n} \\
 C_1 \\
 e_{11} \\
 e_{12} \\
 \vdots \\
 e_{1m_1} \\
 \vdots \\
 e_{k1} \\
 e_{k2} \\
 \vdots \\
 e_{k \ m_k} \\
 \vdots \\
 C_n \\
 e_{n1} \\
 e_{n2} \\
 \vdots \\
 e_{n \ m_n}
 \end{array}
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 W_{11} & \dots & W_{1k} & \dots & W_{1n} \\
 \vdots & & \vdots & & \vdots \\
 W_{k1} & \dots & W_{kk} & \dots & W_{kn} \\
 \vdots & & & & \vdots \\
 W_{n1} & \dots & W_{nk} & \dots & W_{nn}
 \end{bmatrix}
 \quad (1.9)$$

A modo de ejemplo, tomaremos un elemento columna de la Tabla 9 (nuestro caso de estudio) y se analiza la influencia que los elementos de los diferentes *clusters* ejercen sobre ese elemento columna. Este análisis se realiza mediante comparación pareada y los valores de la influencia (vector prioridad w) se ubican en la columna del elemento analizado. Estos valores los asignará el decisor mediante un cuestionario, de la misma forma que en AHP, al realizar comparación por pares.


Se considera el criterio C3 y se observa que, los elemento que influyen sobre él, son: A, B, C, C5, C6 y C9, es decir, elementos del *cluster* G2 y G3, por lo tanto, debemos realizar dos matrices de tamaño 3x3 (Tabla 10) para realizar la comparación, por pares y determinar sus pesos o vectores de prioridad w . Los puntajes observados en Tabla 10, son determinados por los decisores (los mismos entregados en AHP) y el resto, de las matrices de comparación por pares pueden ser observadas en el anexo B y obtenidas, con *Super Desicions*.

Tabla 10: Matrices de comparación por pares para C3 y sus vectores de prioridad (Fuente: elaboración propia)

C_3	A	B	C	W	C_3	C_5	C_6	C_9	W
A	1	2	1/3	0,230	C_5	1	3	6	0,33
B	1/2	1	1/5	0,122	C_6	1/3	1	2	0,33
C	3	5	1	0,648	C_9	1/6	1/2	1	0,33

Al analizar las tablas de comparación por pares observadas en Tabla 10, se dispone de los vectores de prioridad, respecto al criterio C_3 en relación, a las alternativas y entre criterios. Por lo tanto, el vector de prioridad para C_3 respecto, al cluster G_2 (ecuación 1.10) y G_3 (ecuación 1.11) es:

$$w_{C_3-G_2} = \begin{bmatrix} 0,230 \\ 0,122 \\ 0,648 \end{bmatrix} \quad (1.10)$$



$$w_{C_3-G_3} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0,33 \\ 0,33 \\ 0 \\ 0 \\ 0,33 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1.11)$$

Los vectores obtenidos en (1.10) y (1.11) son ingresados, a la supermatriz, según ecuación (1.9). Cuando no existe relación de un criterio respecto a otro elemento, en la comparación por pares, se debe reemplazar por 0 en la matriz del vector de prioridad, como se observa en vector $w_{C_3-G_3}$.

Paso 3: Determinar la supermatriz ponderada

Para este paso, se requiere transformar la supermatriz original en una matriz estocástica, por columnas (sumar 1 por cada columna) para que las super potencias sucesivas de la supermatriz converjan. Se debe generar una matriz de comparación por pares entre los clusters (que influyen sobre determinado cluster) y no, por sus elementos como fue en el paso anterior. Entonces, con las matrices de comparación generadas, debemos determinar su vector de prioridad, utilizando ecuaciones (1.2) y (1.3) y este vector, prioridad se debe multiplicar por el vector prioridad determinado en la

supermatriz original para así ir completar la supermatriz ponderada. La estructura de la supermatriz ponderada se dispone en Tabla 11.

Tabla 11: Supermatriz ponderada para el caso de estudio (Fuente: elaboración propia)

Importancia	G_2	G_3
G_2	$w_{1,1} * w_{1,1}$	$w_{1,2} * w_{1,2}$
G_3	$w_{2,1} * w_{2,1}$	$w_{2,2} * w_{2,2}$

En Tabla 11 tenemos que, para determinar la supermatriz ponderada se requiere calcular, los vectores de prioridad o pesos w y multiplicarlos, entre sí (los obtenidos de supermatriz original y de la comparación entre clusters) y así obtener un vector prioridad estocástico y generar, la supermatriz ponderada.

Cada una de las comparaciones entre clusters para formar la supermatriz ponderada, se observan en Anexo B, mencionando, además, que la puntuación fue realizada, al igual que los otros casos, de estudio por los tres decisores en conjunto.

Paso 4: *Determinar supermatriz límite*

Para determinar la supermatriz límite, se debe elevar la supermatriz ponderada (determinada en paso 3) a potencias sucesivas, hasta que sus entradas converjan en un determinado valor, es decir, todas las columnas de la supermatriz límite, deben ser iguales y sus valores indican la prioridad global, de los elementos de la red.

Para obtener los resultados finales, se analizan las alternativas por una parte y los criterios por otra de manera que, normalizando por separado los datos de la matriz límite se obtiene, la prioridad entre las alternativas, por una parte y la prioridad entre los criterios por otra.

Normalmente esta supermatriz límite es única, pero se podría obtener un proceso cíclico en el que existan varias supermatrices límite. En este caso, las prioridades globales se determinarán, calculando el promedio (media aritmética) entre, las entradas de las diferentes supermatrices.

La supermatriz límite, para nuestro caso de estudio, se observa en el capítulo de resultados, que fue determinado con el *software Super Desiccions*.

Finalmente, es necesario mencionar que en cada comparación por pares utilizada en este método se debe, comprobar la consistencia de los juicios de igual manera que en AHP con ecuaciones de (1.4) a (1.7) y en este caso determinada, por *Super Decisions*.

4.4 Análisis TOPSIS

Para realizar este análisis, se consideran los vectores de prioridad obtenidos en AHP, para los criterios (respecto al objetivo) y de las alternativas, respecto a cada uno de los criterios, de la forma mostrada en Tabla 12 (ver anexo A matriz de decisión para el caso en estudio).

Tabla 12: Matriz de decisión para aplicar TOPSIS al caso de estudio (Fuente: elaboración propia)

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
A	X_{A1}	X_{A2}	X_{A3}	X_{A4}	X_{A5}	X_{A6}	X_{A7}	X_{A8}	X_{A9}	X_{A10}
B	X_{B1}	X_{B2}	X_{B3}	X_{B4}	X_{B5}	X_{B6}	X_{B7}	X_{B8}	X_{B9}	X_{B10}
C	X_{C1}	X_{C2}	X_{C3}	X_{C4}	X_{C5}	X_{C6}	X_{C7}	X_{C8}	X_{C9}	X_{C10}
w_C	w_{C1}	w_{C2}	w_{C3}	w_{C4}	w_{C5}	w_{C6}	w_{C7}	w_{C8}	w_{C9}	w_{C10}

La Tabla 12 muestra los vectores de prioridad de las alternativas respecto a los criterios y la de los criterios respecto a al objetivo.

A partir de la matriz formada (Tabla 12), por los pesos o vectores de prioridad, se debe realizar cada uno de los siguientes pasos, para determinar la proximidad de las alternativas respecto a la solución ideal y asignar, a cada una un valor de prioridad.

Paso 1: *Construir la matriz de decisión normalizada*

Para la construcción de la matriz normalizada primero, se eleva al cuadrado cada valor de la matriz base luego, se suman estos valores por cada criterio y se obtiene, la raíz de la suma. Con este valor, se divide cada valor, de la matriz de decisión (Tabla 12) entre la raíz obtenida previamente y representado por la ecuación (1.12).

$$\bar{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2}} \quad (1.12)$$

En donde \bar{X}_{ij} representa el valor de la alternativa i respecto al criterio j normalizado y X_{ij} representa los valores de la matriz de pesos, de cada alternativa de acuerdo con cada uno de los criterios (Tabla 12).

Paso 2: Construir la matriz de decisión normalizada ponderada

Para construir la matriz de decisión normalizada ponderada, se debe multiplicar cada valor normalizado, obtenidos a partir de la ecuación (1.12), por el peso de cada criterio representado por la ecuación (1.13).

$$V_{ij} = \bar{X}_{ij} \times W_j \quad (1.13)$$

En donde, V_{ij} representa, el valor normalizado ponderado y W_j corresponde, al vector prioridad, asociado a los criterios j .

Paso 3: Determinar la solución ideal positiva y negativa

Para determinar las soluciones ideales, se debe considerar los valores normalizados ponderados, obtenidos a partir de ecuación (1.13). La solución ideal positiva es el mayor valor asociado a cada criterio, por el contrario, la solución ideal negativa, es el menor y representada por las ecuaciones (1.14) y (1.15).

$$A^+ = \{V_1^+, \dots, V_n^+\} = \{(Max_i V_{ij}, j \in J)(Min_i V_{ij}, j \in J')\} \quad (1.14)$$

$$A^- = \{V_1^-, \dots, V_n^-\} = \{(Max_i V_{ij}, j \in J)(Min_i V_{ij}, j \in J')\} \quad (1.15)$$

Donde, A^+ representa, la solución ideal positiva y A^- representa, la solución ideal negativa (o anti ideal), V_n^+ y V_n^- corresponde, al valor ideal positivo y negativo respectivamente, J describe el conjunto asociado con los criterios de beneficio y J' , los conjuntos asociados a los criterios de costos.

En el caso de estudio, cuando debemos determinar la solución ideal, positiva y negativa, se considera si en los criterios en estudio se busca, minimizar sus costos o maximizar sus beneficios, de esto depende que valor se incluye en A^+ y A^- . Por ejemplo, para el criterio C1, que tiene relación con el Precio/costo, se busca en el centro de salud en estudio, minimizar estos costos, para la solución ideal positiva, se considera

el mínimo valor de V_n^+ y para la solución ideal negativa, se considera el máximo valor de V_n^- .

Paso 4: *Calcular D^* , distancia entre cada una de las alternativas y las soluciones ideales.*

Para el cálculo de la distancia entre las alternativas y las soluciones ideales positivas (A+) e ideales negativas (A-) se debe aplicar las ecuaciones (1.16) y (1.17).

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (1.16)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (1.17)$$

En donde, D_i^+ representa la medida de la distancia a la solución ideal positiva, D_i^- la medida de la distancia, a la solución ideal negativa, v_j^+ el valor ideal positivo asociado, al criterio j y v_j^- el valor ideal negativo, asociado al criterio j .

Paso 5: *Calcular la proximidad de las alternativas con respecto a la solución ideal y asignar a cada una un valor de prioridad.*

Para el cálculo de la proximidad, que tienen las alternativas con respecto a la solución ideal, se utiliza la ecuación (1.18).

$$C_i = \frac{D^-}{D^+ + D^-}, 0 < C_i < 1 \quad (1.18)$$

En donde, C_i representa la proximidad de las alternativas con respecto a la solución ideal, mientras mayor sea su valor, mejor alternativa será y por consecuente, es la seleccionada.

Finalmente, una vez que se obtiene el valor de C_i para cada una de las alternativas, se debe elaborar un *ranking* con las prioridades obtenidas. Mencionar, además que este método fue tratado planillas Excel y cada una de sus matrices obtenidas se observan en el capítulo de resultados.

CAPÍTULO 5

Resultados

En este capítulo se proporcionan los resultados obtenidos en el presente estudio, que tiene como objetivo determinar, al mejor proveedor o socio estratégico para implementar un sistema de LR, en clínica Redsalud Mayor de Temuco. En primer lugar, se entregan los resultados obtenidos, con la metodología AHP, mediante el *software Expert Choice*. Luego, los resultados obtenidos para el método ANP mediante, el *software Super Decisions* y finalmente, los resultados obtenidos para TOPSIS.

5.1 Resultados para AHP

En la Figura 5, se observa el modelo jerárquico, utilizado para implementar en el software, en la cual, por motivos de espacio, solo se representa a un criterio con sus alternativas pero considerando que, cada uno de los criterios está asociado a las mismas alternativas, como se muestra en Figura 7.

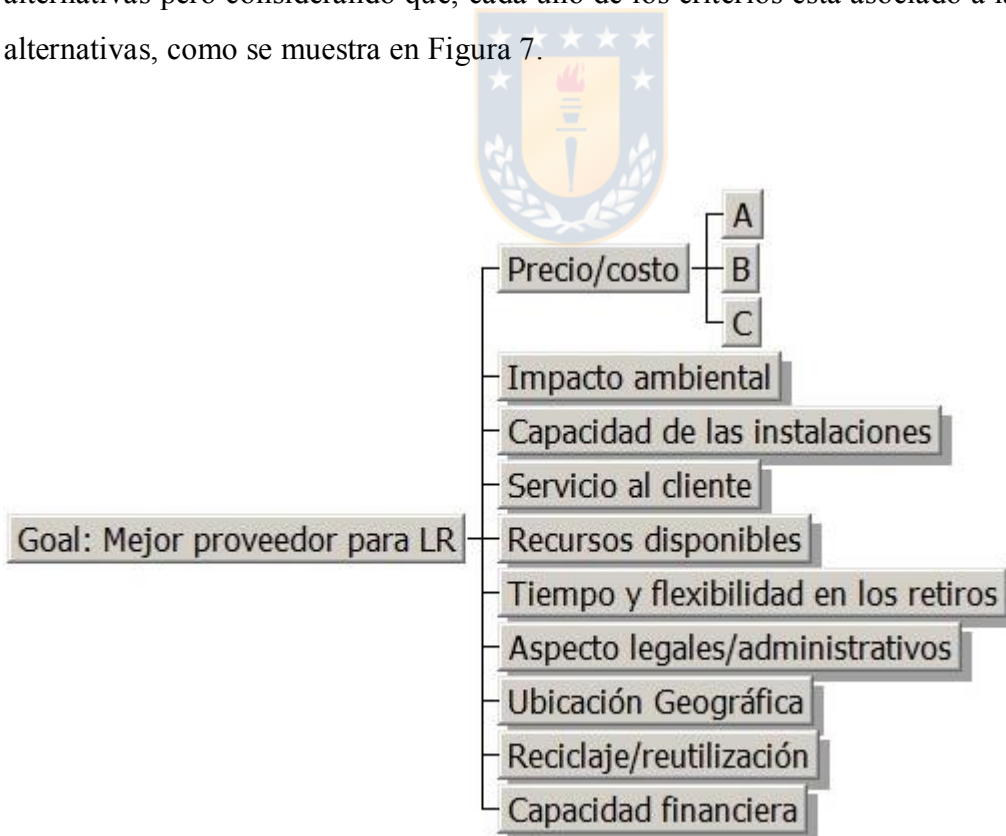


Figura 7: Modelo jerárquico obtenido a partir de *Expert Choice*

Como lo indica el paso 1 y 2 mencionado, en la metodología, debemos determinar el vector de prioridad de los criterios con respecto al objetivo y de las alternativas

respecto a los criterios, para así determinar vector de prioridad global (ver ecuación (1.8)). El ranking generado para cada uno de los niveles, de este modelo fue realizado por el grupo decisor en conjunto, directamente en *Expert Choice* y fue ajustado, con el objetivo de obtener una razón de consistencia inferior al 10%, como se indica en paso tres de la metodología.

En la Tabla 13 se observan los vectores de prioridad obtenidos para cada uno de los criterios respecto al objetivo.

Tabla 13: Vector de prioridades para cada uno de los criterios (Fuente: elaboración propia)

Notación	Vector de Prioridad
C_1	0,205
C_2	0,115
C_3	0,039
C_4	0,166
C_5	0,048
C_6	0,181
C_7	0,044
C_8	0,106
C_9	0,074
C_{10}	0,021
RC	0,06

En la Tabla 13 se observa que el criterio precio/costo posee un mayor porcentaje de preferencia, en relación con el resto. Este criterio posee un porcentaje igual al 20,5% y el criterio que menos, preferencia presenta es relacionado a la capacidad financiera con un porcentaje igual al 2,1%. Por otro lado, la razón de consistencia RC es igual a 0,06, lo que significa, que el ranking elaborado para estos criterios es correcto y no presenta inconsistencia.

Tabla 14: Vectores de prioridad de las alternativas respecto a cada criterio (Fuente: elaboración propia)

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
A	0,300	0,240	0,200	0,222	0,143	0,109	0,429	0,250	0,125	0,250
B	0,100	0,550	0,600	0,667	0,429	0,729	0,429	0,655	0,750	0,655
C	0,600	0,210	0,200	0,111	0,429	0,163	0,143	0,095	0,125	0,095
RC	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,02	0,00	0,02

En la Tabla 14 se observan los vectores de prioridad para cada una de las alternativas respecto, a los criterios con sus razones de consistencia, la cual en ninguno, supera el 0,10 o sea, no existe inconsistencia. Considerando como ejemplo, el criterio precio/costos (C_1), la alternativa de mayor preferencia es la C, con un 60% de las preferencias.

Una vez determinados los vectores de prioridad para cada uno de los niveles jerárquicos del modelo, el *software* nos entrega el vector de prioridad global, que representa el vector solución de este problema. Este vector solución es representado por cada una de las alternativas, las cuales representan a los proveedores licitantes en la implementación de LR para dispositivos médicos, en el centro de salud en estudio.

En la Tabla 15 y Figura 8, se observan el vector de prioridad global del modelo obtenido mediante *Expert Choice*, para cada alternativa respecto al objetivo, se encuentra en orden de mayor a menor, según el porcentaje de preferencia y presenta, una razón de consistencia igual a 0,05 es decir, de un 5% por lo tanto, no presenta inconsistencia.

Tabla 15: Vector de prioridad global respecto al objetivo (Fuente: elaboración propia)

Notación	Vector de Prioridad Global
A	0,220
B	0,528
C	0,251
RC	0,05

Synthesis: Summary

Synthesis with respect to: Goal: Mejor proveedor para LR

Overall Inconsistency = .05



Figura 8: Vector prioridad global respecto al objetivo

En la Figura 8, se observan los resultados obtenidos mediante *Expert Choice* para cada una de las alternativas, en relación con el objetivo o meta propuesta en este modelo. En la gráfica, la que obtiene un mayor porcentaje de preferencia es la alternativa B con un 52,8% de las preferencias, seguido por la alternativa C con un 25,1% de las preferencias. Por otro lado, la que posee la menor preferencia es la alternativa A con un 22% que se traduce, en una amplia diferencia en relación con la alternativa con mayor preferencia (barra con mayor porcentaje), pero con menos diferencia a la alternativa C.



5.2 Resultados para ANP

En la Figura 9 se observa el modelo en red obtenido desde el *software Super Desicions*, con el modelo en red con la interacción que existe entre los diferentes *clusters* y nodos.

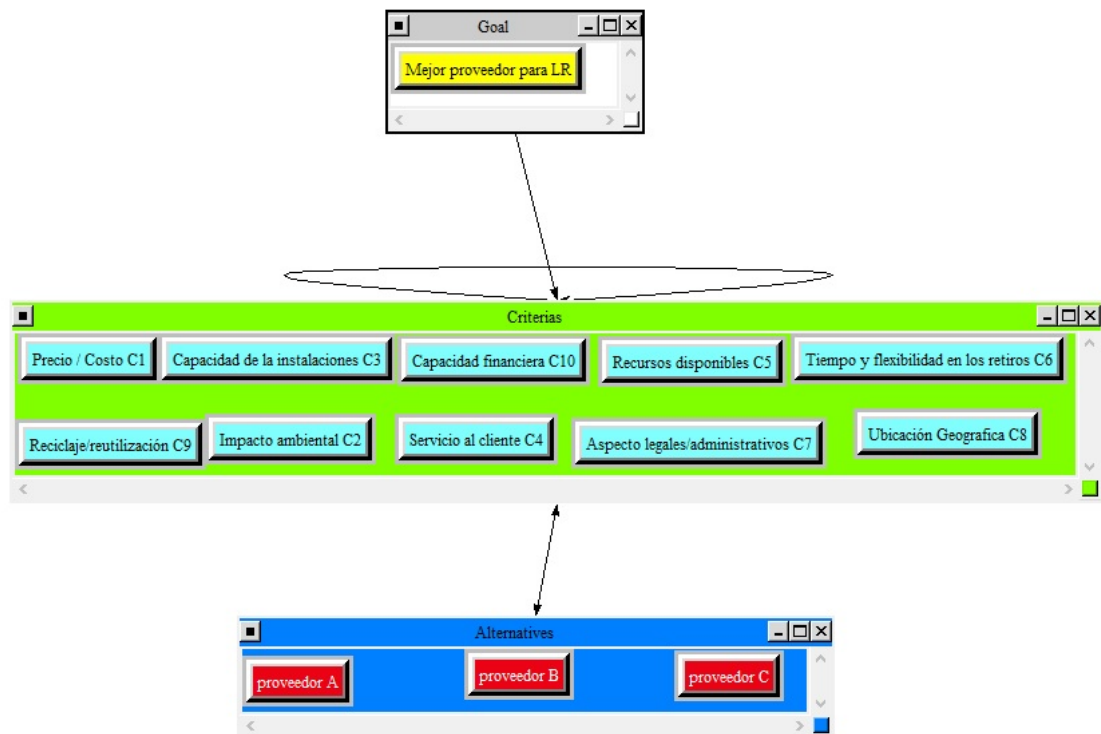


Figura 9: Modelo en red del problema tratado a través de Super Decisions

Como la matriz de dominancia interfactorial ya fue determinada en la metodología (paso 1), el paso siguiente es determinar la Supermatriz original (paso 2). La puntuación fue determinada por los decisores directamente en *Super Decisions* mediante, el cual se calculó la Supermatriz original, según ecuación (1.9) y se ajustó, levemente para que los juicios no presenten inconsistencia. Cada una de las comparaciones pareadas realizadas, en este modelo se pueden observar en Anexo B.

En la Tabla 16, observamos la Supermatriz original con sus respectivos vectores de prioridad obtenidos a partir de la comparación por pares entre sus elementos (según Tabla 9).

Tabla 16: Supermatriz original para caso de estudio (Fuente elaboración propia)

G_3				G_2									
A	B	C		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
A	0,00	0,00	0,00	0,30	0,24	0,20	0,28	0,14	0,11	0,43	0,25	0,13	0,25
B	0,00	0,00	0,00	0,10	0,55	0,60	0,26	0,43	0,73	0,43	0,65	0,75	0,65
C	0,00	0,00	0,00	0,60	0,21	0,20	0,46	0,43	0,16	0,14	0,10	0,13	0,10
C_1	0,24	0,04	0,36	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,28	0,00	0,31	0,00	0,24
C_2	0,06	0,10	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,09	0,47	0,00
C_3	0,05	0,06	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,11	0,00	0,00	0,24	0,00
C_4	0,17	0,26	0,13	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,29	0,00	0,00
C_5	0,03	0,05	0,07	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,19	0,39
C_6	0,16	0,18	0,06	0,23	0,00	0,43	0,60	0,17	0,00	0,00	0,18	0,00	0,16
C_7	0,07	0,06	0,03	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00
C_8	0,11	0,13	0,05	0,27	0,16	0,00	0,20	0,00	0,16	0,25	0,00	0,00	0,13
C_9	0,08	0,07	0,04	0,00	0,29	0,14	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
C_{10}	0,03	0,05	0,09	0,11	0,00	0,00	0,00	0,34	0,08	0,00	0,05	0,10	0,00

Como se muestra en Tabla 16, si consideramos el criterio C3 se tiene que los elementos que influyen sobre él son: A, B, C, C5, C6 y C9, es decir, elementos del cluster G2 y G3. Según esto, los elementos de G3, influyen un 14% C9 y un 43% C5 y C6.

Posterior a determinar la supermatriz original, se debe obtener la supermatriz ponderada (paso 3), de la manera representada en Tabla 10, de la metodología, es decir, multiplicar los vectores de prioridad encontrados, en matriz original por vectores de prioridad obtenidos en la comparación por pares entre *clusters*. Esta supermatriz ponderada, se observa en la Tabla 17, la cual fue determinada mediante *Super Decisions*.

Tabla 17: Supermatriz ponderada obtenida mediante *Super Decisions* (Fuente: elaboración propia)

G_3				G_2									
A	B	C		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
A	0,00	0,00	0,00	0,15	0,12	0,10	0,14	0,07	0,05	0,21	0,12	0,06	0,12
B	0,00	0,00	0,00	0,05	0,28	0,30	0,13	0,21	0,36	0,21	0,33	0,38	0,33
C	0,00	0,00	0,00	0,30	0,10	0,10	0,23	0,21	0,08	0,07	0,05	0,06	0,05
C_1	0,24	0,04	0,36	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,14	0,00	0,15	0,00	0,12
C_2	0,06	0,10	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,04	0,24	0,00
C_3	0,05	0,06	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,06	0,00	0,00	0,12	0,00
C_4	0,17	0,26	0,13	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,15	0,00	0,00
C_5	0,03	0,05	0,07	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,10	0,19
C_6	0,16	0,18	0,06	0,11	0,00	0,21	0,30	0,08	0,00	0,00	0,09	0,00	0,08
C_7	0,07	0,06	0,03	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
C_8	0,11	0,13	0,05	0,13	0,08	0,00	0,10	0,00	0,08	0,13	0,00	0,00	0,06
C_9	0,08	0,07	0,04	0,00	0,15	0,07	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
C_{10}	0,03	0,05	0,09	0,05	0,00	0,00	0,00	0,17	0,04	0,00	0,02	0,05	0,00

Al realizar la suma de columnas en Tabla 17, se obtiene que todas las columnas suman 1, por ende, la supermatriz es estocástica. Para facilitar la comprensión se

definió, por parte de los decisores que la importancia entre *cluster* era la misma por lo tanto, el vector de prioridad de G3 respecto a G3 es de 0,5 y de G3 respecto a G2 0,5. Tal como se describió, en la metodología, esta supermatriz ponderada representa la influencia de cada uno de los *clusters* entre sí y con otros.

Una vez determinada, la supermatriz ponderada, se determina la supermatriz límite (paso 4), en la Tabla 18.

Tabla 18: Supermatriz límite obtenido con *Super Decisions* (Fuente: Elaboración propia)

G_3				G_2									
A	B	C		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
A	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
B	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
C	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
C_1	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
C_2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
C_3	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
C_4	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
C_5	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
C_6	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
C_7	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
C_8	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
C_9	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
C_{10}	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

Para conseguir los resultados finales, a partir de la Tabla 18 se operan las alternativas por una parte y los criterios por otra, para normalizar por separado los datos

de la supermatriz límite, se obtiene el vector de prioridad entre las alternativas, por una parte, y el vector prioridad entre los criterios por otra.

Tabla 19: Vectores de prioridad normalizada para alternativas (Fuente: elaboración propia)

Alternativa	Vector prioridad
A	0,23
B	0,48
C	0,29

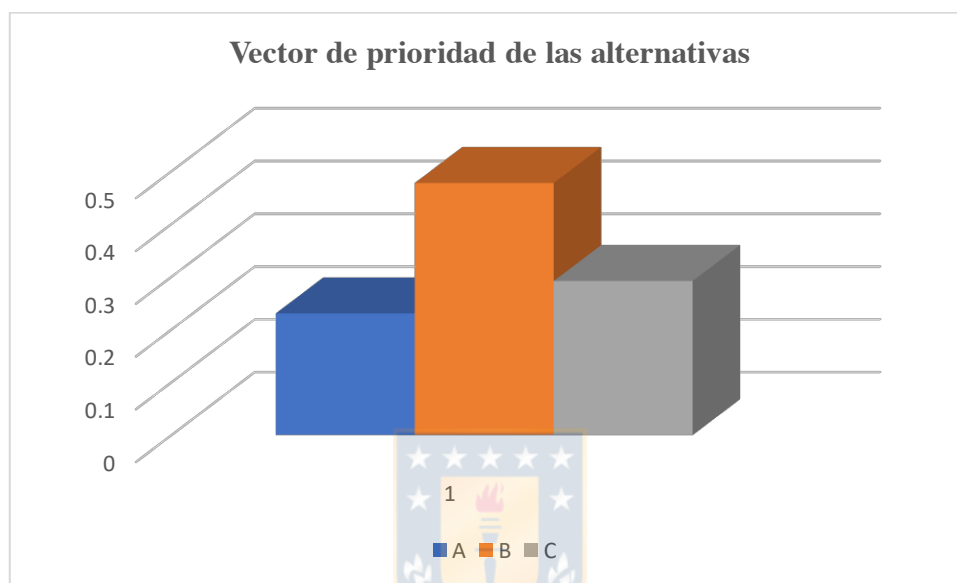


Figura 10: Gráficos de vectores de prioridad normalizados de las alternativas

Tabla 20: Vectores de prioridad normalizados para criterios (Fuente: elaboración propia)

Criterios	Vector Prioridad
C_1	0,15
C_2	0,07
C_3	0,06
C_4	0,18
C_5	0,06
C_6	0,18
C_7	0,06

C_8	0,12
C_9	0,06
C_{10}	0,06

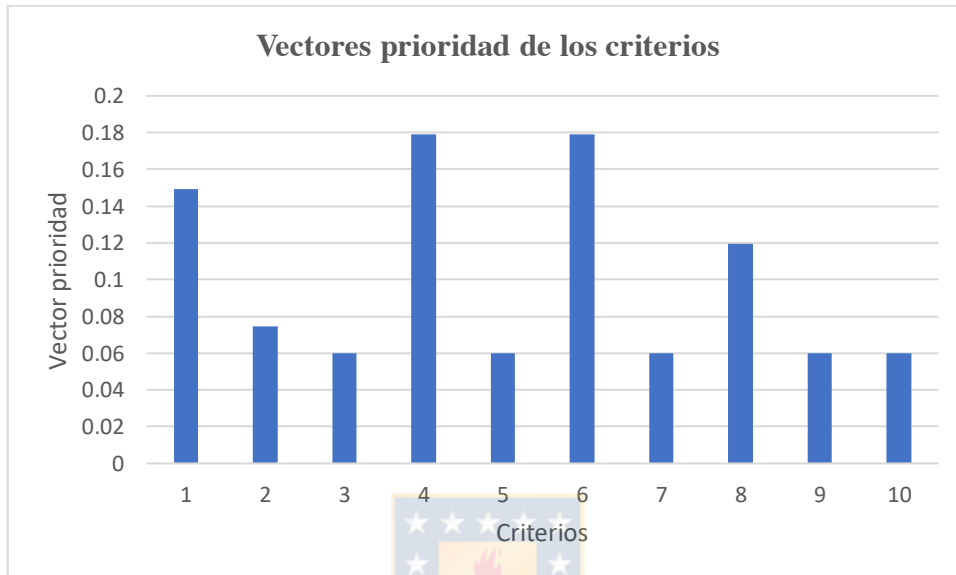


Figura 11: Vectores de prioridad normalizados para criterios

En las Tablas 19 y 20 y Figuras 10 y 11, se observan los vectores prioridad para cada una de las alternativas y criterios, la alternativa B es la de mayor preferencia, por lo tanto, el proveedor B es el que tiene un 48% de las preferencias por sobre un 29% y 23% de los proveedores C y A respectivamente. Por otro parte, los criterios con mayor relevancia para los decisores son: C1, C4, C6 y C8, que serán, de utilidad para realizar el análisis de sensibilidad en el siguiente capítulo y así determinar, cómo varía la elección del mejor proveedor al variar la importancia de estos criterios.

5.3 Resultados para TOPSIS

Para este método, se requiere generar la matriz de decisión normalizada con ecuación (1.12) (paso 1), para lo cual se necesita la matriz de decisión generada a partir del método AHP y mostradas en las Tablas 13 y 14 y resumida en Tabla 21. Además de los vectores de prioridad, se muestra si un criterio representa un costo o un beneficio que es importante para determinar A^+ y A^- .

Tabla 21: Matriz de decisión uso de TOPSIS (Fuente: elaboración propia)

	Costo	Benf.	Benf.	Benf.	Benf.	Benf.	Benf.	Benf.	Benf.	Benf.
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A	0,30	0,24	0,20	0,22	0,14	0,11	0,43	0,25	0,13	0,25
B	0,10	0,55	0,60	0,67	0,43	0,73	0,43	0,66	0,75	0,66
C	0,60	0,21	0,20	0,11	0,43	0,16	0,14	0,09	0,13	0,09
W_c	0,21	0,12	0,04	0,17	0,05	0,18	0,04	0,11	0,07	0,02

Una vez determinada la matriz de decisión, el paso siguiente es normalizarla. Para eso utilizamos ecuación (1.12) y los resultados se muestran en Tabla 22.

Tabla 22: Matriz de decisión normalizada (Fuente: elaboración propia)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A	0,44	0,38	0,30	0,31	0,23	0,14	0,69	0,35	0,16	0,35
B	0,15	0,87	0,90	0,94	0,69	0,97	0,69	0,93	0,97	0,93
C	0,88	0,33	0,30	0,16	0,69	0,22	0,23	0,13	0,16	0,13

Determinada la matriz de decisión normalizada, se obtiene la matriz de decisión normalizada ponderada (paso 2 de la metodología), mediante la ecuación (1.13) y se observa en Tabla 23.

Tabla 23: Matriz de decisión normalizada ponderada (Fuente: elaboración propia)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A	0,09	0,04	0,01	0,05	0,01	0,03	0,03	0,04	0,01	0,01
B	0,03	0,10	0,04	0,16	0,03	0,18	0,03	0,10	0,07	0,02
C	0,18	0,04	0,01	0,03	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,003

A partir de la matriz de decisión normalizada ponderada, se determina la solución ideal positiva y negativa (paso 3), a partir de ecuaciones (1.14) y (1.15) y los resultados se observan en Tabla 24.

Tabla 24: Valores de la solución ideal positiva (A^+) y solución ideal negativa (A^-) para cada criterio (Fuente: elaboración propia)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A+	0,03	0,10	0,04	0,16	0,03	0,18	0,03	0,10	0,07	0,02
A-	0,18	0,04	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,003

Se observa en Tabla 24, para el criterio C1, la solución ideal positiva representa el mínimo y la negativa el máximo, debido a que el criterio C1 busca minimizar los costos y aumentar los beneficios (ver Tabla 21). El resto de los criterios (Tabla 24) buscan, aumentar los beneficios respecto al cliente.

Una vez determinados las soluciones ideales positivas y negativas, se requiere determinar la distancia, entre cada una de las alternativas y las soluciones ideales (paso 4) mediante, las ecuaciones (1.16) y (1.17). Los resultados son expuestos en Tabla 25.

Tabla 25: Distancias de las alternativas respecto a la solución ideal positiva y negativa (Fuente: elaboración propia)

	D+	D-
A	0,22	0,10
B	0,00	0,28
C	0,27	0,03

Finalmente, una vez determinadas las distancia, se calcula la proximidad de las alternativas respecto a la solución ideal y se asigna a cada una un valor de prioridad (paso 5), mediante ecuación (1.18). Los resultados, son expuestos en Tabla 26.

Tabla 26: Proximidad de las alternativas y ranking final de prioridades (Fuente: elaboración propia)

Alternativas	Ci	Ci Normalizado	Ranking
A	0,312	0,233	2
B	1,000	0,715	1
C	0,086	0,062	3

A partir de Tabla 26 se observa, que la alternativa con mayor preferencia es la B con un 71,5%, seguido de la alternativa B con un 23,3% y finalmente, la alternativa C es el menos preferible con un 6,2%. En la Figura 12, se tienen los resultados obtenidos, mediante el método TOPSIS, para el caso de estudio.

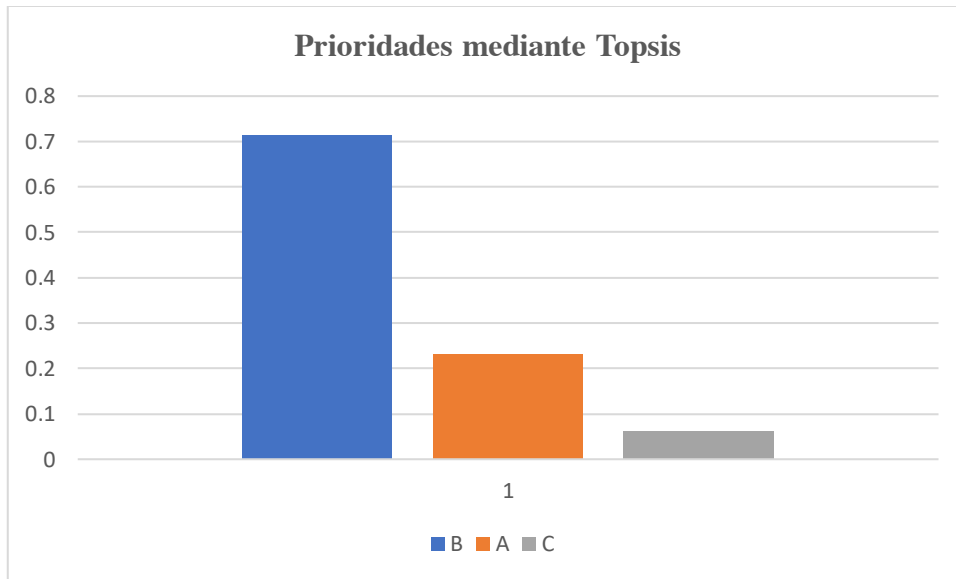


Figura 12: Gráfica de prioridades de las alternativas



CAPÍTULO 6

Discusión

En este capítulo se realiza el análisis y discusión de los resultados obtenidos con todos los métodos usados en este estudio, con análisis de sensibilidad para los métodos AHP y ANP, ya que para TOPSIS los datos utilizados son los mismos vectores de prioridad entregados por AHP.

6.1 Consolidación de datos

Primero, se debe mencionar que la RC (razón de consistencia) para los métodos AHP y ANP en cada uno de sus pasos fue menor al 10% ajustadas, con la finalidad que no se presenten inconsistencias, en los juicios dados por los decisores.

Se observan en las Tablas 13 y 19 que los vectores de prioridad de los criterios Precio/costos (C1), servicio al cliente (C4) y Tiempo y flexibilidad en los retiros (C6), son los criterios con mayor preferencia por los decisores, mientras que los de menor preferencia son los criterios: Capacidad financiera (C10), Recursos disponibles (C5) y Calidad de las instalaciones (C3). Esto demuestra que los decisores, buscan implementar un sistema de LR en donde los costos disminuyan a un precio inferior al actual y que los retiros de dispositivos médicos y electrónicos tengan una mayor frecuencia y que la postventa o servicio al cliente, por parte de la empresa que se adjudique la licitación se respete y sea consecuente con lo estipulado en el contrato. No es relevante la gestión de sus recursos, de la empresa externa, para el centro de salud, mientras el servicio prestado cumpla con lo establecido en las bases de la licitación y los aspectos legales.

En Tabla 27 y Figura 13 se observa la consolidación de resultados finales alcanzados con cada una de las metodologías aplicadas, en donde la alternativa con mayor preferencia es la alternativa B, es decir el proveedor B es el que cumple de mejor manera con las características y atributos, más valorados por los decisores a la hora de implementar un sistema de LR en el centro de salud. Por otro lado, la alternativa con menor preferencia en AHP y ANP es la alternativa A, mientras que en TOPSIS es la alternativa C. Las variaciones porcentuales, en los resultados entre ANP y AHP son mínimas, mientras que en comparación a TOPSIS son algo más relevantes, pero, no varía la preferencia existente sobre el proveedor B, como mejor socio o *partner* estratégico en la implementación de un sistema de LR en el centro de salud en estudio.

Tabla 27: Resultados finales para AHP, ANP y TOPSIS (Fuente: elaboración propia)

	AHP	ANP	TOPSIS
A	22,0%	23,0%	23,3%
B	52,8%	48,0%	71,5%
C	25,1%	29,0%	6,20%

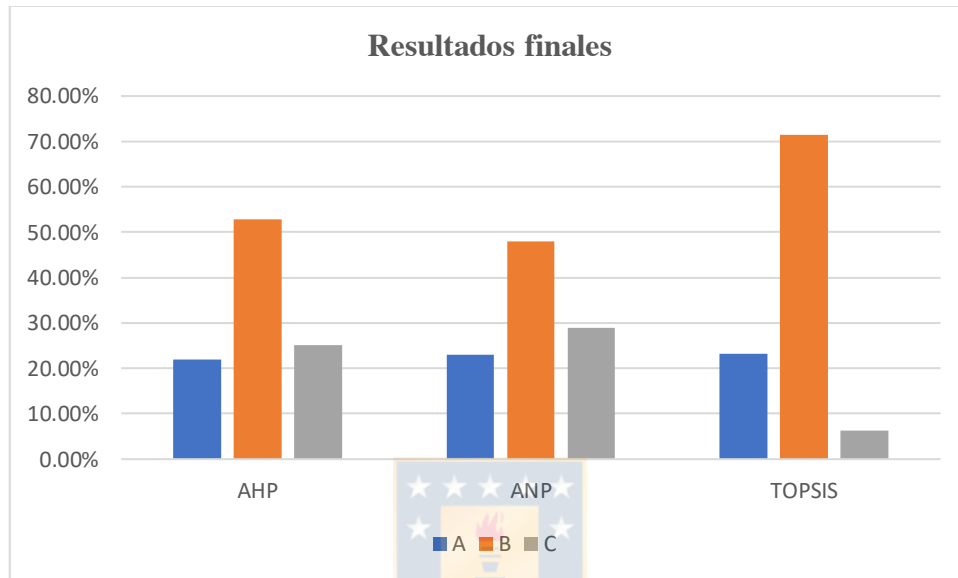


Figura 13: Resultados finales para AHP, ANP y TOPSIS

Tal como se observa en la Tabla 27 y Figura 13, en las tres metodologías el proveedor B es quien posee el mayor porcentaje de las preferencias por un margen considerable en relación con los otros proveedores. Respecto al proveedor con menor preferencia, varía solamente en el método TOPSIS y se debe probablemente a que esta metodología considera mínimos y máximos relacionados a los costos o beneficios a la hora de tomar una decisión.

6.2 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad permite evaluar como varían las alternativas al variar las prioridades a los criterios. Se evaluarán las metodologías AHP y ANP, ya que TOPSIS se basa, en las prioridades entregadas por AHP. Las variaciones realizadas, para que se logre una diferencia significativa y sea demostrable el cambio, se aumentará la prioridad a los criterios en un porcentaje, mayor al 10%. Además, se considera la variación en los dos criterios de mayor y menor importancia, en los resultados de la aplicación de cada metodología.

6.2.1 Análisis sensibilidad AHP

Primero, se aumenta en un 20% el criterio C1 (precio/costos) y luego, se disminuye en un 15% para identificar si varía o no la preferencia, por una alternativa u otra. En las Figuras 14, 15, 16 y 17 se observan los resultados obtenidos al realizar las variaciones mencionadas.

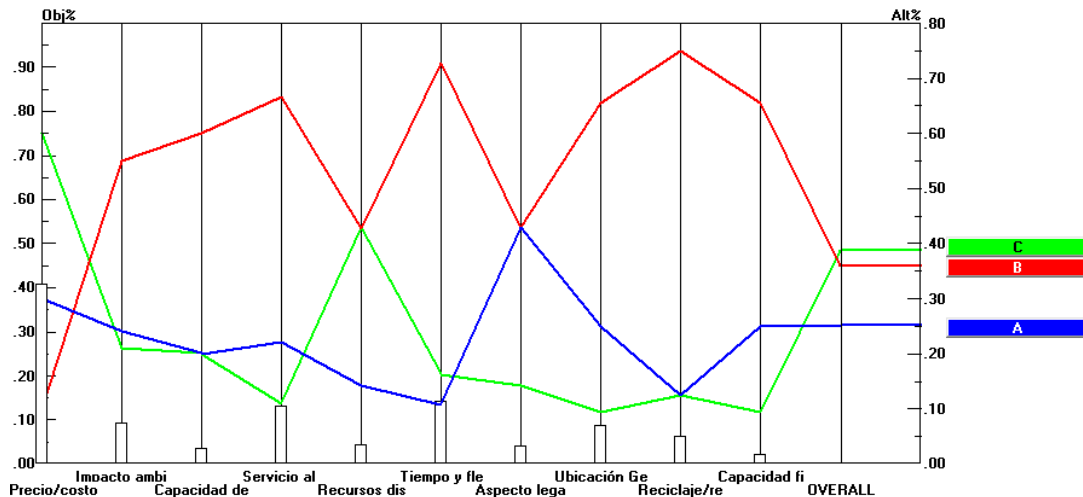


Figura 14: Aumento en 20% al criterio C1 obtenido mediante Expert Choice

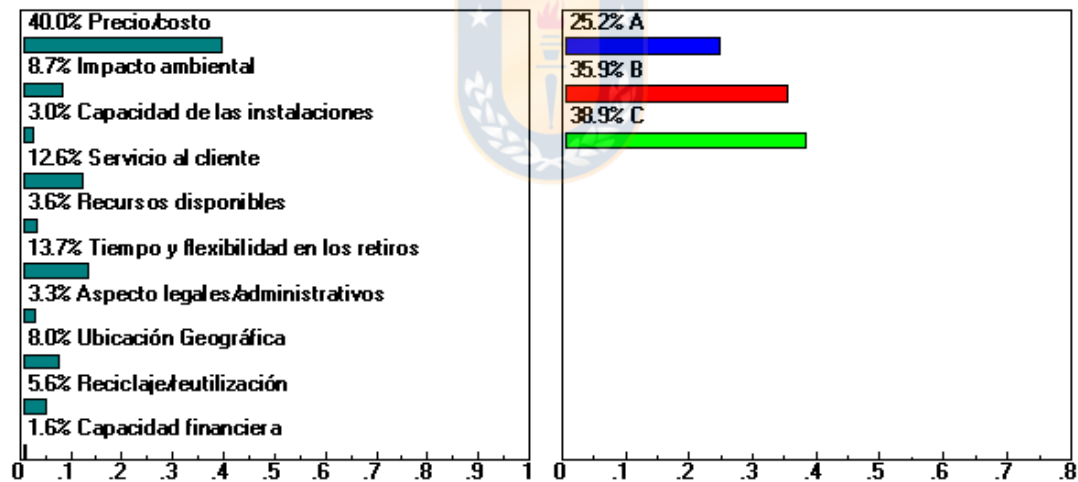


Figura 15: Variación de las preferencias al aumentar 20% al criterio C1

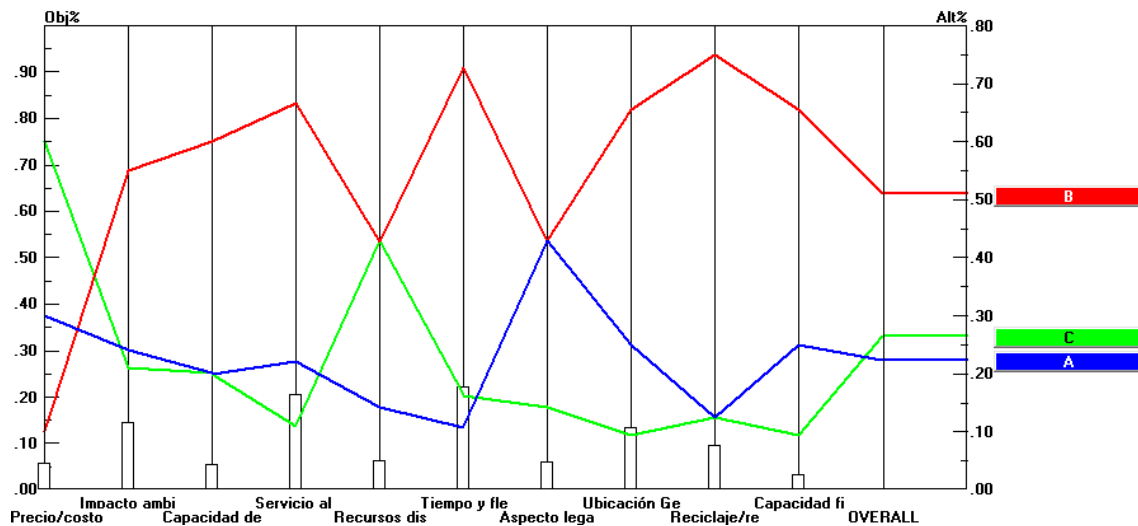


Figura 16: Disminución en 15% al criterio C1 mediante Expert Choice

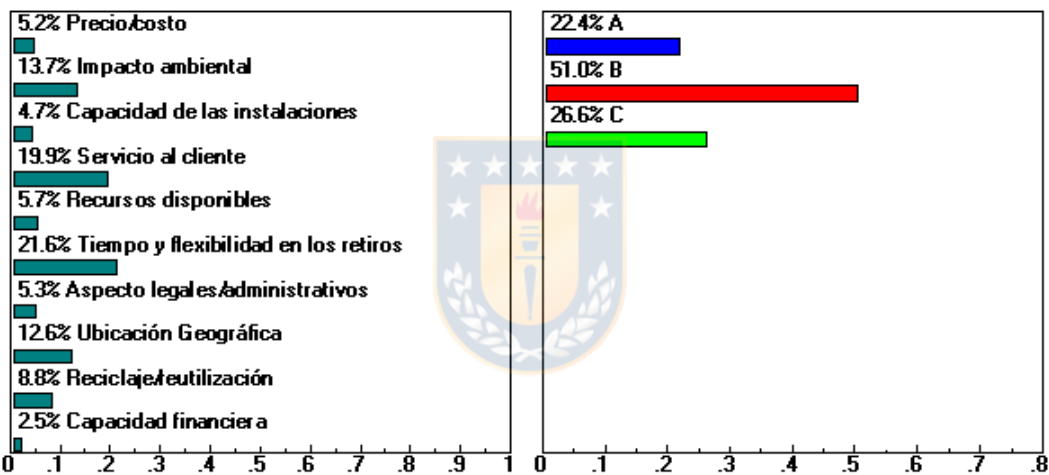


Figura 17: Variación de las preferencias al disminuir en 15% el criterio C1

Se aprecia en las Figuras 14 y 15 que, si aumentamos el criterio Precio/costo (C1) en 20%, su prioridad varía el resultado final respecto a la alternativa preferida para lograr el objetivo. Se observa que, la alternativa con mayor preferencia para este caso sería la C, es decir, que el proveedor C sería el indicado para implementar un sistema de LR, que es consecuente considerando, que es el oferente más económico en precio. En segundo lugar, queda la alternativa B y último, la alternativa A. Por lo tanto, si el criterio C1 tiene mayor importancia para los decisores, a la hora de implementar un sistema de LR en el centro de salud en estudio la alternativa, más adecuada sería la C y no la B, como lo fue, basándose en los juicios de los decisores.

Por otro lado, si observamos las Figuras 16 y 17, al disminuir en un 15% la prioridad del criterio C1, no se producen grandes diferencias con los resultados finales

obtenidos con los juicios de los decisores, ya que el proveedor B sigue siendo el más indicado, para implementar el sistema de LR en el centro de salud y esto, es concordante a la realidad, considerando que este proveedor cumple de mejor manera, con el resto de los criterios considerados para la selección, a partir de los juicios de los decisores. Finalmente, las alternativas C y A quedarían en segundo y tercer lugar, respectivamente, al disminuir la preferencia en el criterio C1.

Ahora bien, si analizamos el criterio con menor prioridad, C10, que tiene relación con la capacidad financiera, al aumentar en casi 30% su preferencia, la alternativa B sigue siendo, la de mayor preferencia, por lo tanto, no varía en la decisión final. Donde sí existe variación es con la segunda y tercera preferencia, la alternativa A es mayormente preferida que la alternativa C. O sea, si aumentamos la preferencia al criterio C10, el proveedor B es elegido, pero existe variación en el orden de las prioridades con los proveedores A y C. Los resultados obtenidos, mediante *Expert Choice* son presentados en Figuras 18 y 19.

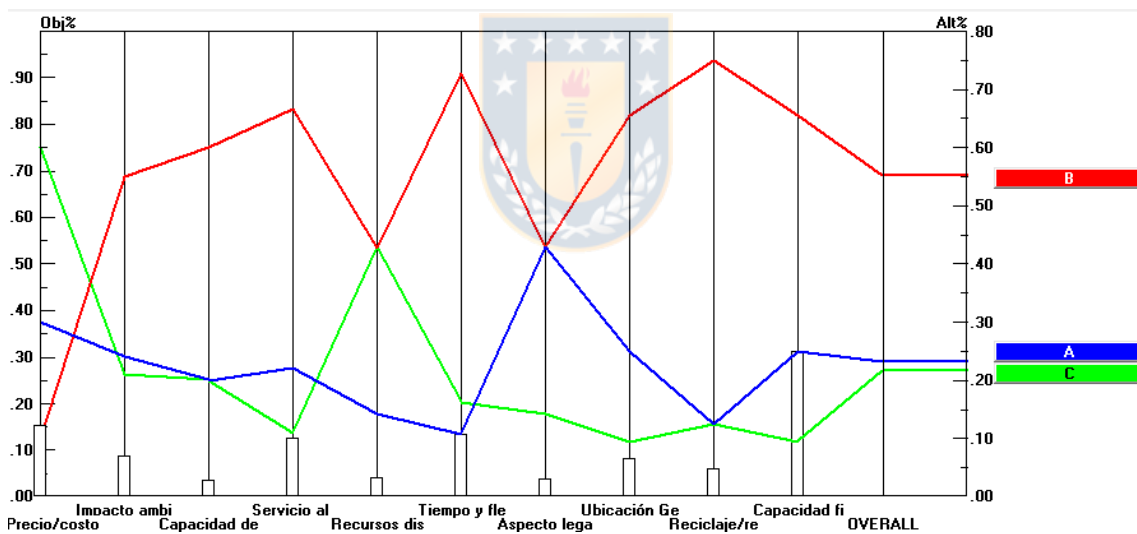


Figura 18: Aumento en 30% de las preferencias para el criterio C10

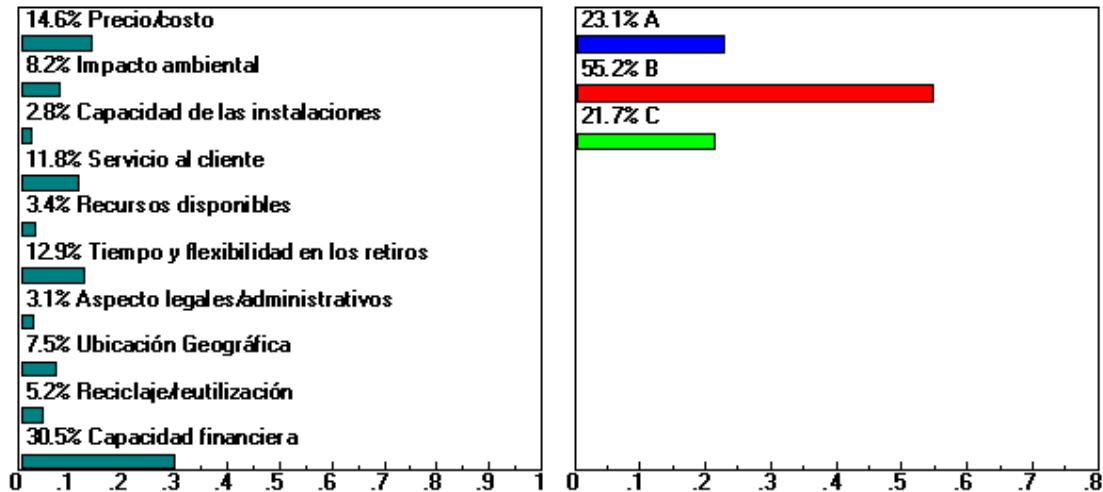


Figura 19: Variación de las preferencias al aumentar en un 30% la preferencia de C10

6.2.2 Análisis de sensibilidad ANP

El análisis de sensibilidad en ANP es más complejo, debido a que la relación es por nodos y no de manera directa (jerárquica) como en AHP. En primer lugar, tal como se observa en la Figura 20 y 21, vemos que al aumentar la preferencia del criterio C1, el aumento debe ser sobre el 50% para que existan variaciones considerables, en donde el proveedor C se acerca como mejor alternativa al proveedor B.

Si disminuye la preferencia del criterio C1, el orden de las preferencias no varía en gran medida y se sigue manteniendo, como alternativa preferente el proveedor B, pero el proveedor C comienza, a descender su preferencia, lo cual es lógico considerando, que en el proveedor C, la única ventaja que tiene sobre el resto de los proveedores es su bajo precio/costo, por prestar el servicio. Este último análisis se puede observar en la Figura 22 y 23.

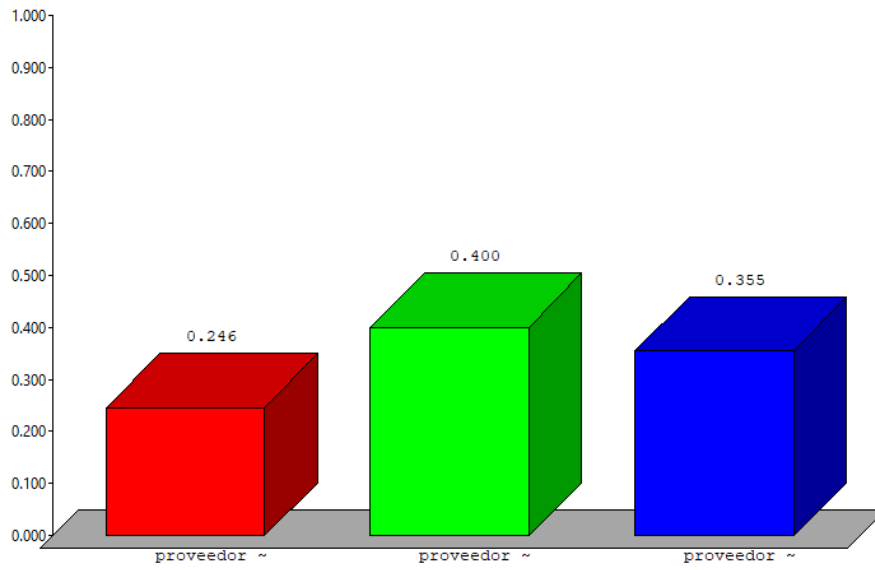


Figura 20: Aumento de la preferencia para el criterio C1 en 50%

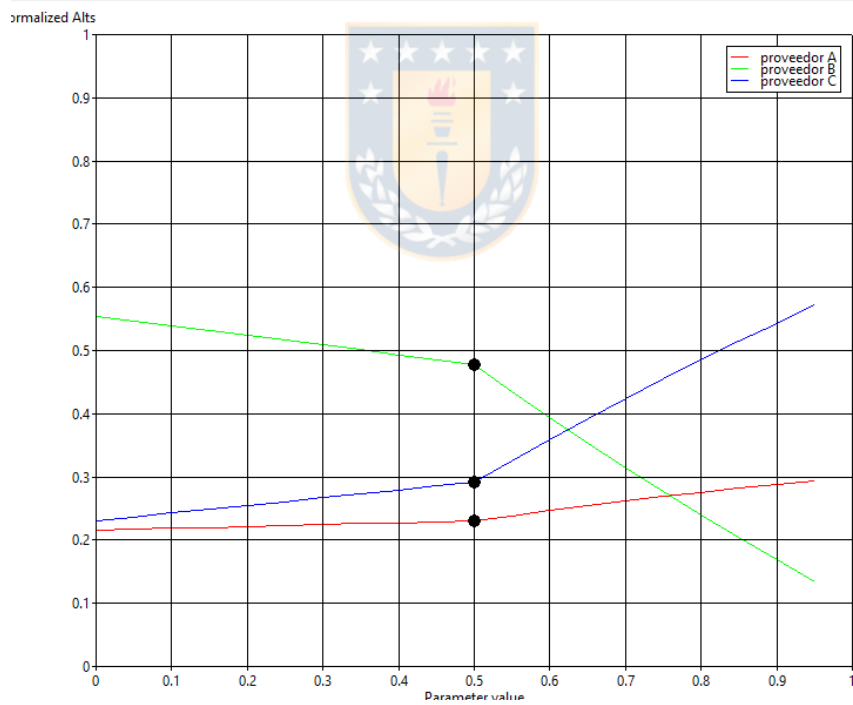


Figura 21: Aumento de la preferencia al criterio C1 en 50%

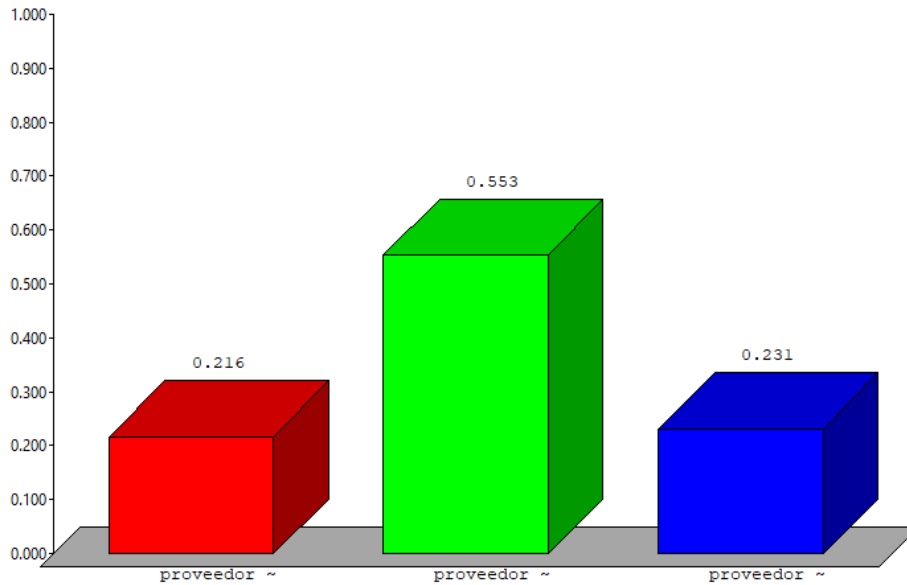


Figura 22: Disminución en la preferencia del criterio C1 en 30%

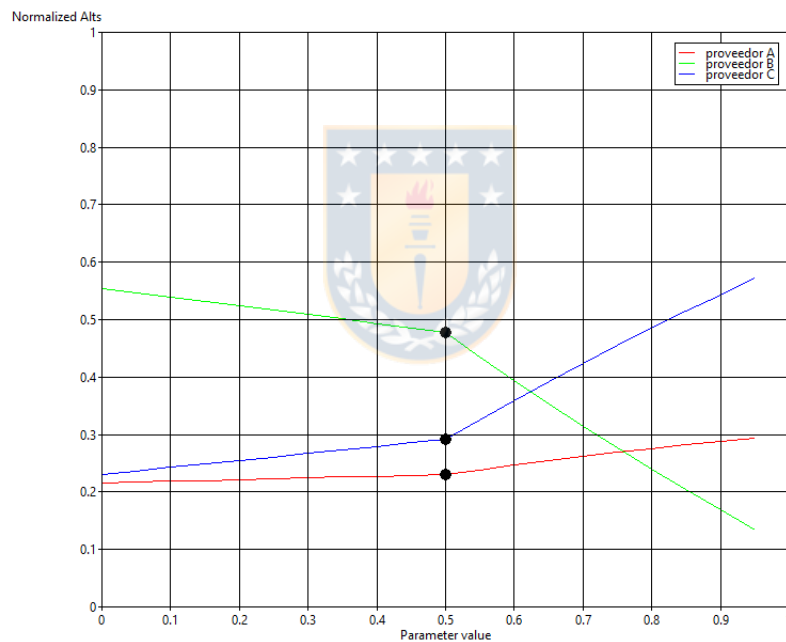


Figura 23: Disminución en la preferencia del criterio C1 en 30%

Por otro lado, si analizamos el o los criterios con menor preferencia, en la aplicación de esta metodología vemos que son varios los que tienen el mismo porcentaje de preferencia, pero para realizar el análisis de sensibilidad tomaremos el criterio C10, relacionado a la capacidad financiera.

En este caso, aumentamos la preferencia de este criterio en 40% y no se hará disminución en sus prioridades, ya que su preferencia es tan baja que no afectaría la decisión final a la hora de seleccionar un proveedor para la implementación de un sistema de LR para el centro de salud en estudio.

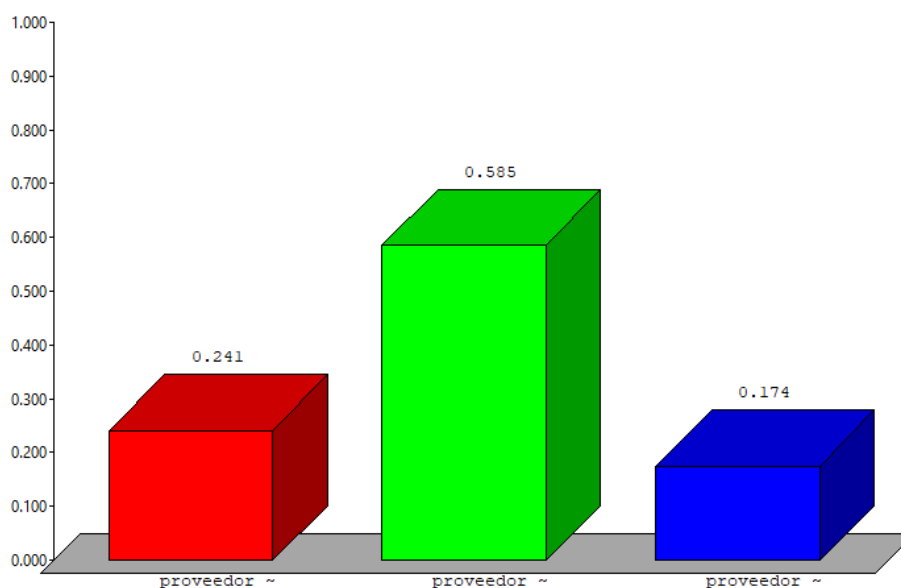


Figura 24: Aumento en 40% de preferencia al criterio C10

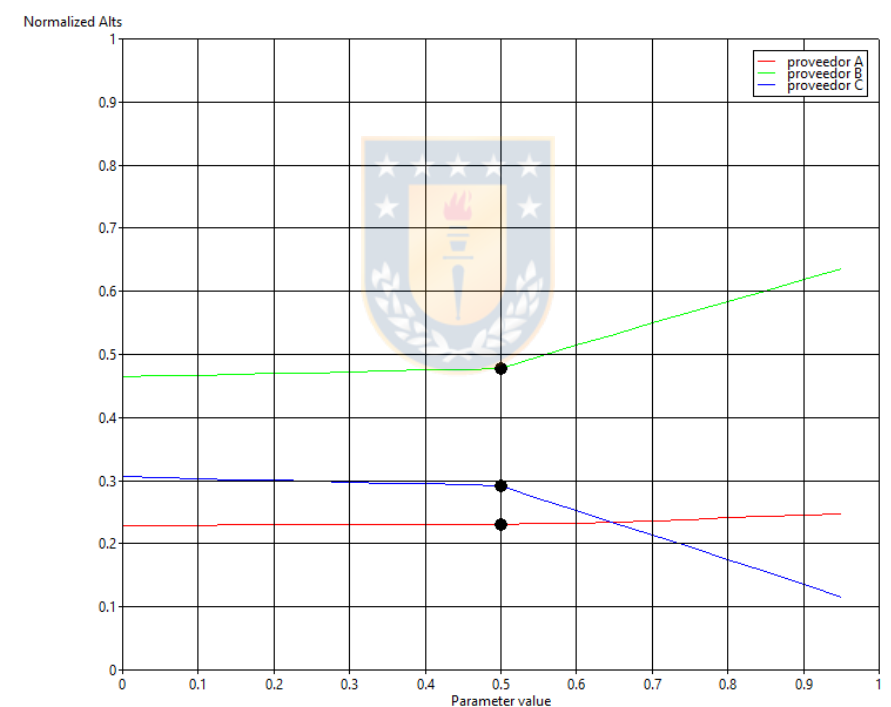


Figura 25: Aumento en 40% de preferencia al criterio C10

Se aprecia en las Figuras 24 y 25 que al aumentar la preferencia por el criterio C10, la alternativa B sigue siendo con mayor prioridad para la toma de decisiones, o sea el proveedor B, sería el seleccionado. Por otro lado, el proveedor A pasa a tener una mayor preferencia por sobre el proveedor C, siendo este último quien se vería más

perjudicado con una disminución considerable en su porcentaje de preferencia (de 29% a 17% aproximadamente).

6.3 Análisis de la literatura revisada

Al analizar la literatura revisada en este estudio, se observa que la LR es un proceso que lleva siendo estudiado por más de veinte años, pero que en ámbito de la salud es prácticamente inexistente, con solo un par de estudios relacionados a desechos médicos, pero ninguno relacionado a los dispositivos médicos para centros de salud.

Existen estudios de LR realizados a empresas desarrolladoras de equipamiento médico, enfocados principalmente en obtener beneficios del proceso de recuperación de sus productos al final de su vida útil. A través de este proceso, las grandes empresas desarrolladoras de equipos recuperan sus productos fuera de uso por parte de sus clientes (centros de salud) y los reciclan, remanufacturan y desmantelan, para obtener el máximo beneficio a un menor costo. Es por esto mismo, que estos estudios se centran en modelos matemáticos capaces de disminuir los costos, ya sea de la ubicación de sus plantas de tratamiento y de la recuperación de éstos.

Por último, mencionar que es muy importante que estas herramientas sean poco a poco incorporadas en el ámbito de salud, ya que representan un claro aporte a la toma de decisiones y la búsqueda por optimizar procesos que muchas veces no son considerados importantes.

CAPÍTULO 7

Conclusiones

La implementación de un sistema de LR para cualquier organización, ya sea de servicios o industriales, debe ser gestionada de manera adecuada para obtener resultados positivos y recuperar parte del valor de sus propios productos. Para esto, es fundamental la voluntad o disposición por parte de las empresas, para recuperar sus productos. De lo contrario, será imposible beneficiarse por la aplicación de este proceso.

En este estudio se usó técnicas basadas en Investigación de Operaciones descritas en la literatura, con el objetivo de contribuir al proceso de implementación de un sistema de LR para los dispositivos médicos presentes en un centro de salud.

A partir de las herramientas MCDM utilizadas en este estudio, las cuales tienen por objetivo determinar el mejor proveedor o socio estratégico en la implementación de un sistema LR en un centro de salud particular, se logró determinar que para decidir o contribuir a un proceso de LR se debe considerar una serie de criterios o atributos fundamentales en la toma de la decisión final. Los resultados obtenidos, muestran que los criterios que tienen un mayor peso o preferencia son los asociados al Precio/costo de implementar el proceso de LR, el servicio al cliente que tiene relación con la post venta entregada por el oferente y el tiempo y flexibilidad en los retiros que debe tener el proveedor, ya que es fundamental determinar los horarios en los que es posible realizar los retiros sin interferir la operatividad del centro de salud. Por otro, los resultados determinaron que el mejor proveedor o el indicado para llevar a cabo el proceso de LR en el centro de salud es el proveedor B, ya que cumple de mejor manera con cada uno de los criterios de selección impuestos por la clínica, incluso cuando los parámetros fueron cambiados al realizar el análisis de sensibilidad, en varios casos el proveedor B seguía siendo la mejor elección. Esta alternativa fue la seleccionada en cada una de las herramientas utilizadas, es decir AHP, ANP y TOPSIS.

La elección de las 3 herramientas MCDM en este estudio fueron seleccionadas debido a que son las más utilizadas en la literatura y no son complejas de utilizar. Por esta razón, la metodología propuesta se planteó paso a paso con la finalidad de que personas de otros ámbitos pueda entender y aplicarlas en cualquier empresa o industria. Además, las herramientas AHP y ANP cuentan con software de libre uso, por lo que facilita aún más la obtención de resultados y análisis.

Podemos concluir, además, que la herramienta ANP es la más completa en comparación a las otras dos seleccionadas. Esto se debe a que esta herramienta, permite realizar un análisis en red y no existe una relación jerárquica, si no que todos los atributos involucrados en el problema pueden estar relación entre un mismo nivel u otro. Por otro lado, TOPSIS aporta al considerar los criterios como beneficio o disminución de costos, lo que es importante a la hora de tomar decisiones de este tipo.

Los beneficios de implementar un sistema de LR son compartidos, pero quien obtiene una mayor rentabilidad económica es el fabricante, debido a que al recuperar sus productos, recupera parte del valor de éstos. Por otro lado, los clientes o consumidores también son beneficiados con este sistema ya que reduce costos de almacenamiento, disposición final y en algunos casos puede recuperar incluso el dispositivo, sobre todo si el proceso de compra es realizado mediante *Leasing*, asegurando a los centros de salud las mantenciones preventivas a los dispositivos médicos. Al adquirir un dispositivo médico a través de *Leasing*, se facilita el proceso de LR para un centro de salud, ya que una vez que el equipo cumple con su vida útil, será la empresa proveedora del dispositivo la encargada del retiro.

Por último, el beneficio al medio ambiente que implica operar considerando sistemas de LR, ha sido demostrado por un gran número de investigadores, en donde el mercado de dispositivos médicos y también los residuos hospitalarios, de cualquier tipo, no han quedado exentos. Muchos autores señalan que los potenciales riesgos de contaminación de los residuos electrónicos, en donde se incluye gran parte de los dispositivos médicos, son elevados, por lo que la LR proporciona una buena manera de gestionar el tratamiento final de estos dispositivos fuera de uso, para así evitar riesgos medio ambientales.

Para finalizar, mencionar que los resultados obtenidos en este estudio fueron los utilizados por el centro de salud y se decidió por implementar el sistema de LR con el proveedor B, ya que, como se mencionó en los resultados, es el que reúne de mejor manera todas las condiciones determinadas por los criterios para implementar un proceso de LR.

Referencia

- Barker, T. J., & Zabinsky, Z. B. (2011). A multicriteria decision making model for reverse logistics using analytical hierarchy process. *Omega*, 39(5), 558–573.
- Barker, T. J., & Zabinsky, Z. B. (2008). Reverse Logistics Network Design: A Framework for Decision Making, *International Journal of Sustainable Engineering*, 250-260.
- Bostel, N., Dejax, P., & Lu, Z. (2005). The design, planning, and optimization of reverse logistics networks. En *Logistics Systems: Design and Optimization* (pp. 171–212).
- Büyüközkan, G. (2012). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy Topsis to evaluate green suppliers. *ELSEVIER*, 12.
- Dowlatshahi, S. (2000). Developing a theory of reverse logistics. *Interfaces*, 30(3), 143–155.
- Eray Demirel, N. D. (2016). A mixed integer linear programming model to optimize reverse logistics activities of end-of-life vehicles in Turkey. *ELSEVIER*, 2101-2113.
- Fakhrzad, M. B., & Moobed, M. (2010). A GA Model Development for Decision Making Under Reverse Logistics. *International Journal of Industrial Engineering*, 21(4).
- Fleischmann, M., Beullens, P., BLOEMHOF-RUWAARD, J. M., & WASSENHOVE, L. N. (2001). The impact of product recovery on logistics network design. *Production and operations management*, 10(2), 156–173.
- Frederick, H., & Liberman, G. (2002). Investigación de operaciones. *México: Editorial Mc Graw-Hill*.

- Jara, F. (2014). *Diseño de una red de logística reversa para dispositivos médicos al final de su vida útil en un centro de salud*. Memoria de Título Ingeniería Civil Biomédica, Universidad de Concepción.
- Kannan, G., Sasikumar, P., & Devika, K. (2010). A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling. *Applied Mathematical Modelling*, 34(3), 655–670.
- La Londe, B. J., Grabner, J. R., & Robeson, J. F. (1971). Integrated distribution systems: a management perspective. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 1(1), 43–49.
- Li-hong Shi. (2009). A mixed integer linear programming for medical waste reverse logistics network design. En *Management Science and Engineering, 2009. ICMSE 2009. International Conference on* (pp. 1971–1975).
- Pokharel, S., & Mutha, A. (2009). Perspectives in reverse logistics: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(4), 175–182.
- Prakash, C. (2016). A combined MCDM approach for evaluation and selection of. *ELSEVIER*, 13.
- Queiruga, D., Walther, G., González-Benito, J., & Spengler, T. (2008). Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain. *Waste Management*, 28(1), 181–190.
- Robinson, B. H. (2009). E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. *Science of the Total Environment*, 408(2), 183–191.
- Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. (2001). An examination of reverse logistics practices. *Journal of business Logistics*, 22(2), 129–148.
- Saaty, T. (2005). Theory and Applications of the Analytic Network Process.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.

- Santibanez-Gonzalez, E. D. R., & Luna, H. P. (2010). A Binary Particle Swarm Optimization-based algorithm to Design a Reverse Logistics Network.
- Sbihi, A., & Eglese, R. W. (2010). Combinatorial optimization and green logistics. *Annals of Operations Research*, 175(1), 159–175.
- S.Senthila, K. A. (2018). Analysis and prioritisation of risks in a reverse logistics network using hybrid multi-criteria decision making methods. *ELSEVIER*, 716-730.
- Tibben-Lembke, R. S. (2002). Life after death: reverse logistics and the product life cycle. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(3), 223–244.
- Theresa Barker, Z. Z. (2011). A multicriteria decision making mode lfor reverse logistics using AHP. *ELSEVIER*, 16.
- Winston, W. L., Anzures, M. B., & Fragoso, F. S. (2005). *Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos*. Thomson.
- Wadhwa. (2009). Flexible decision modeling of reverse logistics system. *ELSEVIER*, 10.
- Yoon, H. &. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. *Springer-Verlag*.

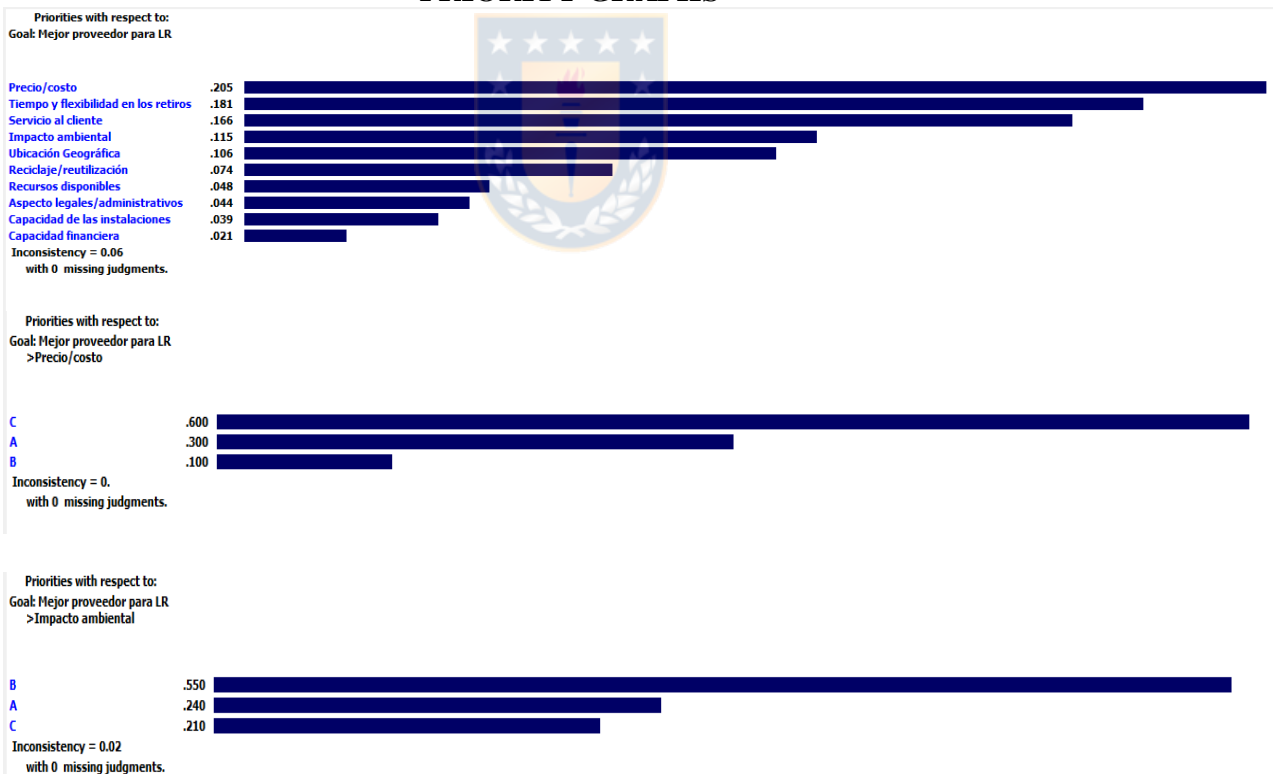
ANEXO A: MATRICES DE COMPARACIÓN POR PARES EXPERTCHOICE

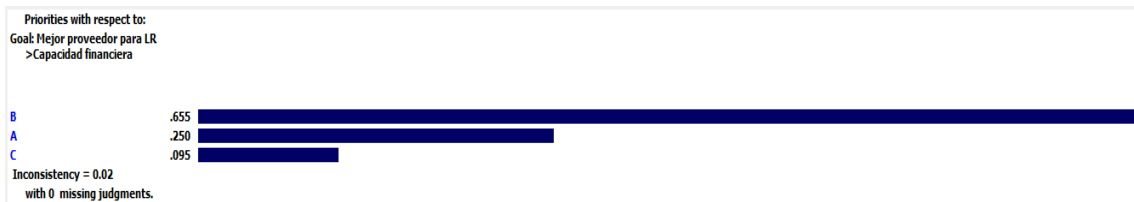
DATA GRID

Distributive mode	Pairwise	Pairwise	Pairwise	Pairwise	Pairwise
Alternative	Impacto ambiental (L: .115)	Capacidad de las instalaciones (L: .039)	Servicio al cliente (L: .166)	Recursos disponibles (L: .048)	Tiempo y flexibilidad en los retiros (L: .181)
<input checked="" type="checkbox"/> A	.437	.333	.333	.333	.149
<input checked="" type="checkbox"/> B	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
<input checked="" type="checkbox"/> C	.382	.333	.167	1.000	.223

Distributive mode	Pairwise	Pairwise	Pairwise	Pairwise
Alternative	Aspecto legales/administrativos (L: .044)	Ubicación Geográfica (L: .106)	Reciclaje/reutilización (L: .074)	Capacidad financiera (L: .021)
<input checked="" type="checkbox"/> A	1.000	.382	.167	.382
<input checked="" type="checkbox"/> B	1.000	1.000	1.000	1.000
<input checked="" type="checkbox"/> C	.333	.146	.167	.146

PRIORITY GRAPHS





Synthesis: Details

Alts	Level 1	Pty
Percent A		22.0
A	Precio/costo (L: .205)	.061
	Impacto ambiental (L: .115)	.028
	Capacidad de las instalaciones (L: .039)	.008
	Servicio al cliente (L: .166)	.037
	Recursos disponibles (L: .048)	.007
	Tiempo y flexibilidad en los retiros (L: .181)	.020
	Aspecto legales/administrativos (L: .044)	.019
	Ubicación Geográfica (L: .106)	.026
	Reciclaje/reutilización (L: .074)	.009
	Capacidad financiera (L: .021)	.005
Percent B		52.9
B	Precio/costo (L: .205)	.020
	Impacto ambiental (L: .115)	.063
	Capacidad de las instalaciones (L: .039)	.024
	Servicio al cliente (L: .166)	.111
	Recursos disponibles (L: .048)	.021
	Tiempo y flexibilidad en los retiros (L: .181)	.132
	Aspecto legales/administrativos (L: .044)	.019
	Ubicación Geográfica (L: .106)	.069
	Reciclaje/reutilización (L: .074)	.055
	Capacidad financiera (L: .021)	.014
Percent C		25.1
C	Precio/costo (L: .205)	.123
	Impacto ambiental (L: .115)	.024
	Capacidad de las instalaciones (L: .039)	.008
	Servicio al cliente (L: .166)	.018
	Recursos disponibles (L: .048)	.021
	Tiempo y flexibilidad en los retiros (L: .181)	.029
	Aspecto legales/administrativos (L: .044)	.006
	Ubicación Geográfica (L: .106)	.010
	Reciclaje/reutilización (L: .074)	.009
	Capacidad financiera (L: .021)	.002



Compare the relative importance with respect to: Goal: Mejor proveedor para LR

Circle one number per row below using the scale:

1 = Equal 3 = Moderate 5 = Strong 7 = Very strong 9 = Extreme

1	Precio/costo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Impacto ambiental
2	Precio/costo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacidad de las ins
3	Precio/costo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Servicio al cliente
4	Precio/costo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Recursos disponibles
5	Precio/costo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tiempo y flexibilidad
6	Precio/costo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto legales/adm
7	Precio/costo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ubicación Geográfica
8	Precio/costo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reciclaje/reutilización
9	Precio/costo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacidad financiera
10	Impacto ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacidad de las ins
11	Impacto ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Servicio al cliente
12	Impacto ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Recursos disponibles
13	Impacto ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tiempo y flexibilidad
14	Impacto ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto legales/adm
15	Impacto ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ubicación Geográfica
16	Impacto ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reciclaje/reutilización
17	Impacto ambiental	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacidad financiera
18	Capacidad de las ins	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Servicio al cliente
19	Capacidad de las ins	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Recursos disponibles
20	Capacidad de las ins	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tiempo y flexibilidad
21	Capacidad de las ins	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto legales/adm
22	Capacidad de las ins	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ubicación Geográfica
23	Capacidad de las ins	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reciclaje/reutilización
24	Capacidad de las ins	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacidad financiera
25	Servicio al cliente	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Recursos disponibles
26	Servicio al cliente	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tiempo y flexibilidad
27	Servicio al cliente	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto legales/adm
28	Servicio al cliente	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ubicación Geográfica
29	Servicio al cliente	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reciclaje/reutilización
30	Servicio al cliente	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacidad financiera
31	Recursos disponibles	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tiempo y flexibilidad
32	Recursos disponibles	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto legales/adm
33	Recursos disponibles	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ubicación Geográfica
34	Recursos disponibles	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reciclaje/reutilización
35	Recursos disponibles	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacidad financiera
36	Tiempo y flexibilidad	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Aspecto legales/adm
37	Tiempo y flexibilidad	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ubicación Geográfica
38	Tiempo y flexibilidad	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reciclaje/reutilización
39	Tiempo y flexibilidad	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacidad financiera
40	Aspecto legales/adm	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ubicación Geográfica
41	Aspecto legales/adm	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reciclaje/reutilización
42	Aspecto legales/adm	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacidad financiera
43	Ubicación Geográfica	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reciclaje/reutilización
44	Ubicación Geográfica	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacidad financiera

ANEXO B: MATRICES DE COMPARACIÓN MEDIANTE SUPER DECISIONS

Respecto a criterios

	Aspecto legales/administrativos C7	Capacidad de la instalaciones C3	Capacidad financiera C10	Impacto ambiental C2	Precio / Costo C1	Reciclaje/reutilización C9	Recursos disponibles C5	Servicio al cliente C4	Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	Ubicación Geografica C8
Aspecto legales/administrativos C7	1	3.000003	1	0.333333	0.166667	0.333333	1	0.333333	0.333333	0.333333
Capacidad de la instalaciones C3	0.333333	1	3	0.333333	0.166667	1	1	0.2	0.333333	0.333333
Capacidad financiera C10	1	0.33333333	1	0.166667	0.166667	0.2	0.2	0.166667	0.166667	0.166667
Impacto ambiental C2	3.000003	3.000003	5.999988	1	1	1	3.000003	1	0.333333	1
Precio / Costo C1	5.999988	5.999988	5.999988	1	1	3	5	1	3	1
Reciclaje/reutilización C9	3.000003	1	5	1	0.33333333	1	2	0.333333	0.333333	0.5
Recursos disponibles C5	1	1	5	0.333333	0.2	0.5	1	0.333333	0.333333	0.5
Servicio al cliente C4	3.000003	5	5.999988	1	1	3.000003	3.000003	1	1	3.000003
Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	3.000003	3.000003	5.999988	3.000003	0.33333333	3.000003	3.000003	1	1	4
Ubicación Geografica C8	3.000003	3.000003	5.999988	1	1	2	2	0.333333	0.25	1

	Aspecto legales/administrativos C7	Capacidad de la instalaciones C3	Capacidad financiera C10	Impacto ambiental C2	Precio / Costo C1	Reciclaje/reutilización C9	Recursos disponibles C5	Servicio al cliente C4	Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	Ubicación Geografica C8
Aspecto legales/administrativos C7	1	3.000003	3.000003	2	0.25	0.333333	2	0.25	0.333333	0.5
Capacidad de la instalaciones C3	0.333333	1	3	1	0.2	0.5	1	0.25	0.333333	0.5
Capacidad financiera C10	0.333333	0.33333333	1	0.333333	0.2	0.5	1	0.25	0.333333	0.333333
Impacto ambiental C2	0.5	1	3.000003	1	0.25	1	3	0.25	0.333333	0.5
Precio / Costo C1	4	5	5	4	1	5	6	1	2	3
Reciclaje/reutilización C9	3.000003	2	2	1	0.2	1	3	0.5	0.333333	0.333333
Recursos disponibles C5	0.5	1	1	0.33333333	0.16666667	0.33333333	1	0.25	0.2	0.333333
Servicio al cliente C4	4	4	4	4	1	2	4	1	0.5	2
Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	3.000003	3.000003	3.000003	3.000003	0.5	3.000003	5	2	1	1
Ubicación Geografica C8	2	2	3.000003	2	0.33333333	3.000003	3.000003	0.5	1	1

	Aspecto legales/administrativos C7	Capacidad de la instalaciones C3	Capacidad financiera C10	Impacto ambiental C2	Precio / Costo C1	Reciclaje/reutilización C9	Recursos disponibles C5	Servicio al cliente C4	Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	Ubicación Geografica C8
Aspecto legales/administrativos C7	1	1	1	0.5	3.000003	0.5	0.5	0.2	0.333333	1
Capacidad de la instalaciones C3	1	1	1	0.333333	2	1	2	0.2	0.333333	0.333333
Capacidad financiera C10	1	1	1	0.333333	2	0.333333	1	0.2	0.333333	0.333333
Impacto ambiental C2	2	3.000003	3.000003	1	2	1	3.000003	0.2	0.25	1
Precio / Costo C1	0.333333	0.5	0.5	0.5	1	1	0.333333	0.2	0.25	0.5
Reciclaje/reutilización C9	2	1	3.000003	1	1	1	2	0.2	0.333333	0.333333
Recursos disponibles C5	2	0.5	1	0.333333	3.000003	0.5	1	0.2	0.333333	0.333333
Servicio al cliente C4	5	5	5	5	5	5	5	1	1	2
Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	3.000003	3.000003	3.000003	4	4	3.000003	3.000003	1	1	1
Ubicación Geografica C8	1	3.000003	3.000003	1	2	3.000003	3.000003	0.5	1	1

	Aspecto legales/administrativos C7	Capacidad de la instalaciones C3	Capacidad financiera C10	Impacto ambiental C2	Precio / Costo C1	Reciclaje/reutilización C9	Recursos disponibles C5	Servicio al cliente C4	Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	Ubicación Geografica C8
Aspecto legales/administrativos C7	1	0.333333	0.5	0.333333	0.166667	1	0.5	0.333333	0.5	0.5
Capacidad de la instalaciones C3	3.000003	1	1	1	0.166667	2	1	0.5	2	3
Capacidad financiera C10	2	1	1	2	0.166667	3.000003	1	0.5	2	3
Impacto ambiental C2	3.000003	1	0.5	1	0.2	1	2	0.5	2	2
Precio / Costo C1	5.999988	5.999988	5.999988	5	1	5.999988	6	4	6	6
Reciclaje/reutilización C9	1	0.5	0.333333	1	0.166667	1	0.5	0.5	0.333333	0.333333
Recursos disponibles C5	2	1	1	0.5	0.16666667	2	1	0.333333	3	1
Servicio al cliente C4	3.000003	2	2	2	0.25	2	3.000003	1	3.000003	3.000003
Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	2	0.5	0.5	0.5	0.16666667	3.000003	0.33333333	0.333333	1	4
Ubicación Geografica C8	2	0.33333333	0.33333333	0.5	0.16666667	3.000003	1	0.333333	0.25	1

	Impacto ambiental C2	Ubicación Geografica C8
Impacto ambiental C2	1	3
Ubicación Geografica C8	0.33333333	1

	Reciclaje/reutilización C9	Recursos disponibles C5	Tiempo y flexibilidad en los retiros C6
Reciclaje/reutilización C9	1	0.333333	0.333333
Recursos disponibles C5	3.000.003	1	1
Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	3.000.003	1	1

	Precio / Costo C1	Reciclaje/reutilización C9	Recursos disponibles C5	Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	Ubicación Geografica C8
Precio / Costo C1	1	3	0.5	1	3
Reciclaje/reutilización C9	0.33333333	1	0.333333	0.5	0.5
Recursos disponibles C5	2	3.000003	1	3	3
Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	1	2	0.33333333	1	1
Ubicación Geografica C8	0.33333333	2	0.33333333	1	1

	Aspecto legales/administrativos C7	Reciclaje/reutilización C9	Ubicación Geografica C8
Aspecto legales/administrativos C7	1	2	3
Reciclaje/reutilización C9	0.5	1	2
Ubicación Geografica C8	0.33333333	0.5	1

	Capacidad financiera C10	Servicio al cliente C4	Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	Ubicación Geografica C8
Capacidad financiera C10	1	0.333333	0.333333	0.5
Servicio al cliente C4	3.000003	1	3	1
Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	3.000003	0.33333333	1	1
Ubicación Geografica C8	2	1	1	1

	Capacidad de la instalaciones C3	Capacidad financiera C10	Impacto ambiental C2	Recursos disponibles C5
Capacidad de la instalaciones C3	1	3	0.5	1
Capacidad financiera C10	0.33333333	1	0.25	0.5
Impacto ambiental C2	2	4	1	3
Recursos disponibles C5	1	2	0.33333333	1

	Capacidad de la instalaciones C3	Capacidad financiera C10	Reciclaje/reutilización C9	Tiempo y flexibilidad en los retiros C6
Capacidad de la instalaciones C3	1	1	3	3
Capacidad financiera C10	1	1	3	2
Reciclaje/reutilización C9	0.33333333	0.33333333	1	0.5
Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	0.33333333	0.5	2	1

	Precio / Costo C1	Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	Ubicación Geografica C8
Precio / Costo C1	1	0.333333	1
Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	3.000003	1	3
Ubicación Geografica C8	1	0.33333333	1

	Capacidad de la instalaciones C3	Capacidad financiera C10	Precio / Costo C1	Recursos disponibles C5	Servicio al cliente C4	Ubicación Geografica C8
Capacidad de la instalaciones C3	1	3	0.333333	1	0.333333	0.5
Capacidad financiera C10	0.33333333	1	0.333333	1	0.333333	0.5
Precio / Costo C1	3.000003	3.000003	1	3	1	2
Recursos disponibles C5	1	1	0.33333333	1	0.333333	0.5
Servicio al cliente C4	3.000003	3.000003	1	3.000003	1	2
Ubicación Geografica C8	2	2	0.5	2	0.5	1

	Aspecto legales/administrativos C7	Capacidad financiera C10	Impacto ambiental C2	Precio / Costo C1	Servicio al cliente C4	Tiempo y flexibilidad en los retiros C6
Aspecto legales/administrativos C7	1	3.000003	1	0.25	0.25	0.333333
Capacidad financiera C10	0.333333	1	0.5	0.2	0.2	0.25
Impacto ambiental C2	1	2	1	0.25	0.333333	0.5
Precio / Costo C1	4	5	4	1	1	2
Servicio al cliente C4	4	5	3.000003	1	1	2
Tiempo y flexibilidad en los retiros C6	3.000003	4	2	0.5	0.5	1

Respecto a alternativas

	proveedor A	proveedor B	proveedor C
proveedor A	1	1	3
proveedor B	1	1	3
proveedor C	0.33333333	0.33333333	1

	proveedor A	proveedor B	proveedor C
proveedor A	1	0.333333	1
proveedor B	3.000003	1	3
proveedor C	1	0.33333333	1

	proveedor A	proveedor B	proveedor C
proveedor A	1	0.333333	3
proveedor B	3.000003	1	6
proveedor C	0.33333333	0.16666667	1

	proveedor A	proveedor B	proveedor C
proveedor A	1	0.5	1
proveedor B	2	1	3
proveedor C	1	0.33333333	1

	proveedor A	proveedor B	proveedor C
proveedor A	1	3	0.5
proveedor B	0.33333333	1	0.166667
proveedor C	2	5.999988	1

	proveedor A	proveedor B	proveedor C
proveedor A	1	0.166667	1
proveedor B	5.999988	1	6
proveedor C	1	0.16666667	1

	proveedor A	proveedor B	proveedor C
proveedor A	1	0.333333	0.333333
proveedor B	3.000003	1	1
proveedor C	3.000003	1	1

	proveedor A	proveedor B	proveedor C
proveedor A	1	0.333333	2
proveedor B	3.000003	1	0.166667
proveedor C	0.5	5.999988	1

	proveedor A	proveedor B	proveedor C
proveedor A	1	0.2	0.5
proveedor B	5	1	6
proveedor C	2	0.16666667	1

	proveedor A	proveedor B	proveedor C
proveedor A	1	0.333333	3
proveedor B	3.000003	1	6
proveedor C	0.33333333	0.16666667	1