



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

---

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE INGENIERÍA Y  
CIENCIAS SOCIALES Y ADMINISTRATIVAS

Sección de estudios de posgrado e investigación

APLICACIÓN DEL MÉTODO ELECTRE III PARA EVALUAR  
ALTERNATIVAS Y ASIGNAR PRIORIDADES DE TRANSFERENCIA DE  
PRODUCTOS EN UNA COMPAÑÍA FARMACÉUTICA

## TESIS

Que para obtener el grado de Maestro en Administración

Presenta

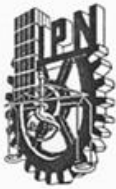
Ing. Gildardo Cid Torres

Director

M. en C. Gustavo Mazcorro Téllez

México, D.F. 2015





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*ACTA DE REVISIÓN DE TESIS*

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 10:00 horas del día 18 del mes de DICIEMBRE del 2014 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de UPIICSA para examinar la tesis titulada:

"APLICACIÓN DEL MÉTODO ELECTRE III PARA EVALUAR ALTERNATIVAS Y ASIGNAR  
PRIORIDADES DE TRANSFERENCIA DE PRODUCTOS EN UNA COMPAÑÍA  
FARMACÉUTICA"

Presentada por el alumno:

<u>CID</u>	<u>TORRES</u>	<u>GILDARDO</u>
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)

Con registro: 

B	9	9	0	8	4	3
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

**LA COMISIÓN REVISORA**

Director de tesis

*Fernando Sanchez Alvarado*

M. EN C. GUSTAVO MAZCORRO TÉLLEZ

M. EN C. FERNANDO SANCHEZ ALVARADO

DR. FAUSTINO RICARDO GARCÍA SOSA

M. EN C. GUILLERMO PÉREZ VÁZQUEZ

M. EN C. MARIO AGUILAR FERNÁNDEZ

**EL PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES**

M. EN C. GUSTAVO MAZCORRO TÉLLEZ

U.P.I.I.C.S.A.  
SECCIÓN DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO E  
INVESTIGACIÓN



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS**

En la ciudad de México, D.F. el día 10 del mes de Junio del año 2015, el que suscribe, Gildardo Cid Torres alumno del Programa de Maestría en Administración con número de registro B990843, adscrito a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas, manifiesta que es el autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del M. en C. Gustavo Mazcorro Téllez y cede los derechos del trabajo titulado Aplicación del Método Electre III para Evaluar Alternativas y Asignar Prioridades de Transferencia de Productos en una Compañía Farmacéutica, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección gcidt45@gmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Gildardo Cid Torres

Nombre y firma

# Contenido

<b>Resumen.....</b>	<b>7</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>8</b>
<b>Prefacio.....</b>	<b>9</b>
<b>Capítulo 1 Introducción .....</b>	<b>13</b>
1.1 Antecedentes .....	14
1.2 Objetivo .....	20
1.3 Justificación .....	20
1.4 Hipótesis .....	21
<b>Capítulo 2 Metodología de solución y descripción del método Electre III .....</b>	<b>22</b>
2.1 Metodología de solución .....	22
2.2 Método de sobreclasificación Electre .....	25
2.3 Método para la asignación de pesos a los criterios .....	34
2.4 Método para la determinación de los umbrales de preferencia (p), indiferencia (q) y veto (v) .....	38
<b>Capítulo 3 Aplicación del método Electre III.....</b>	<b>41</b>
3.1 Objetivo de la transferencia de productos .....	41
3.2 Alternativas .....	42
3.3 Criterios para evaluación de alternativas.....	45
3.4 Determinación de pesos para los criterios de evaluación .....	55
3.5 Determinación de los umbrales de preferencia (p), indiferencia (q) y veto (v) .....	58
3.6 Cálculo de los índices de concordancia y discordancia .....	60
3.7 Matriz de credibilidad .....	64
3.8 Construcción de los 2 preórdenes .....	65
<b>3.9 Destilación descendente.....</b>	<b>66</b>
<b>3.10 Destilación ascendente.....</b>	<b>70</b>
<b>Capítulo 4 Resultados, análisis de sensibilidad y discusión .....</b>	<b>76</b>
4.1 Clasificación final .....	76
4.2 Análisis de sensibilidad.....	79
4.3 Evaluación del análisis de sensibilidad y clasificación final.....	81
4.4 Discusión .....	82
<b>Conclusiones .....</b>	<b>85</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>87</b>
<b>Glosario de términos.....</b>	<b>90</b>

<b>Listado de acrónimos .....</b>	<b>92</b>
-----------------------------------	-----------

## Índice de Figuras

Figura 1: Proceso solución de problemas .....	24
Figura 2: Matriz de Concordancia .....	26
Figura 3: Matriz de Discordancia.....	27
Figura 4: Proceso evaluación de alternativas .....	34
Figura 5: Ejemplo de modelación de preferencias por D. Luce .....	39
Figura 6: Modelo sistémico.....	42
Figura 7: Diagrama jerárquico como herramienta para la deducción de criterios .....	45
Figura 8: Matriz de resistencia al cambio .....	57
Figura 9: Destilación descendente y ascendente .....	74
Figura 10: Clasificación final de las alternativas .....	77

## Índice de Tablas

Tabla 1: Zonas de preferencia, preferencia débil e indiferencia .....	40
Tabla 2: Definición de alternativas .....	44
Tabla 3: Escala de valores para calificar el criterio CR1 .....	46
Tabla 4: Calificación para cada alternativa con base al criterio CR1 .....	47
Tabla 5: Escala de valores para calificar el criterio CR2.....	48
Tabla 6: Calificación para cada alternativa con base al criterio CR2 .....	49
Tabla 7: Escala de valores para la calificar el criterio CR3.....	50
Tabla 8: Calificación para cada alternativa con base al criterio CR3.....	51
Tabla 9: Calificación para cada alternativa con base al criterio CR4.....	52
Tabla 10: Calificación para cada alternativa con base al criterio CR5.....	53
Tabla 11: Calificación para cada alternativa con base al criterio CR6.....	55
Tabla 12: Valores de peso para cada criterio.....	57
Tabla 13: Valores de preferencia (p), Indiferencia (q) y veto (v) .....	60
Tabla 14: Matriz de desempeño .....	60
Tabla 15: Matriz de concordancia .....	62
Tabla 16: Matriz de discordancia para criterio CR1 .....	62
Tabla 17: Matriz de discordancia para criterio CR2 .....	63
Tabla 18: Matriz de discordancia para criterio CR3 .....	63
Tabla 19: Matriz de discordancia para criterio CR4 .....	63
Tabla 20: Matriz de discordancia para criterio CR5 .....	63
Tabla 21: Matriz de discordancia para criterio CR6 .....	64
Tabla 22: Matriz de credibilidad .....	65

Tabla 23: Resultados de la primera destilación primer paso del proceso de destilación descendente .....	66
Tabla 24: Resultados de la primera destilación segundo paso del proceso de destilación descendente ..	67
Tabla 25: Resultados de la segunda destilación primer paso del proceso de destilación descendente ....	67
Tabla 26: Resultados de la segunda destilación segundo paso del proceso de destilación descendente	68
Tabla 27: Resultados de la tercera destilación primer paso del proceso de destilación descendente .....	68
Tabla 28: Resultados de la cuarta destilación primer paso del proceso de destilación descendente .....	69
Tabla 29: Resultados de la cuarta destilación segundo paso del proceso de destilación descendente ....	69
Tabla 30: Resultados de la primera destilación primer paso del proceso de destilación ascendente .....	70
Tabla 31: Resultados de la segunda destilación primer paso del proceso de destilación ascendente .....	71
Tabla 32: Resultados de la tercera destilación primer paso del proceso de destilación ascendente.....	71
Tabla 33: Resultados de la tercera destilación segundo paso del proceso de destilación ascendente .....	72
Tabla 34: Resultados de la cuarta destilación primer paso del proceso de destilación ascendente .....	72
Tabla 35: Resultados de la quinta destilación primer paso del proceso de destilación ascendente .....	73
Tabla 36: Resultados de la quinta destilación segundo paso del proceso de destilación ascendente .....	74
Tabla 37: Matriz de clasificación final.....	77
Tabla 38: Valores de peso para análisis de sensibilidad .....	80
Tabla 39: Resultados del análisis de sensibilidad.....	80

## Resumen

La evaluación de alternativas de solución dentro de un proyecto, es una tarea común y usualmente complicada. Esto se debe a la existencia de más de una dimensión o criterio para evaluar el impacto de cada alternativa y más de una persona involucrada en la decisión. Es en este contexto, donde las metodologías de toma de decisiones multicriterio, son usadas para modelar los procesos de decisión de una manera más explícita, racional y eficiente.

El propósito de este trabajo es, definir la clasificación (*ranking*) de alternativas dentro de un proyecto de ampliación de instalaciones y transferencia de productos en la planta de una empresa farmacéutica. Cada una de las alternativas planteadas, representa un grupo de productos con características comunes, a las cuales se les tiene que asignar una prioridad de transferencia, del área en donde son manufacturados actualmente, al área nueva que acoge su manufactura. Esta definición da origen a las actividades de obra civil, administrativas, etc., que constituyen el proyecto.

El método multicriterio empleado para hacer la evaluación y clasificación de las alternativas es Electre III, cuyos conceptos de sobreclasificación, y umbrales de preferencia e indiferencia lo hacen un método adecuado para ser usado en la situación que se presenta en este trabajo. El método está diseñando para ordenar las alternativas desde la mejor hasta la menos buena.

El uso del método Electre III durante la etapa de planeación del proyecto, resulta ser una herramienta útil para asignar las prioridades en la transferencia de los productos, facilitando y guiando la discusión y presentando los impactos en los resultados de las preferencias manifestadas por los decisores.

## **Abstract**

The evaluation of solution alternatives within a project is a common, yet often difficult task. This is due to the existence of more than one dimension or criterion to assess the impact of each alternative and more than one person involved in the decision. It is in this context, that the methodologies of multi criteria decision making are used to perform the decision process more explicit, rational and in an efficient manner.

The purpose of this document is, to define a ranking of alternatives within a project of facilities expansion and transfer of marketed products in the manufacturing site of a pharmaceutical company. Each of the alternatives proposed, is a group of products with common characteristics, they must be assigned a transfer priority to be relocated, from the area where they are currently manufactured, to a new area where the manufacturing will take place. This definition gives rise to the construction activities and administrative activities.

The Multi criteria method used for the evaluation and ranking of the alternatives is Electre III, whose concepts of outranking, preference and indifference thresholds, make it an appropriate method to be used in the situation presented in this document. The method is designed to rank the given alternatives from the best to the least good.

Use of Electre III method, during the planning stage of the project, is convenient. It has proved to be a useful tool for setting priorities in the transfer of products, facilitating and guiding the discussion and presenting the impacts on the results of the preferences expressed by the decision makers.



## Prefacio

La elaboración de la presente tesis surgió del interés personal de aplicar los conocimientos adquiridos en la clase de Análisis de Decisiones de la Maestría en Administración, a los procesos de toma de decisiones que enfrenta un grupo de personas en la etapa de planeación de un proyecto, dentro de sus organizaciones o empresas.

Este trabajo se realiza en la planta de manufactura de una empresa farmacéutica, en donde, un proyecto de aumento de la capacidad productiva, reúne a los gerentes de los diferentes departamentos para tomar las decisiones durante la planeación y ejecución del proyecto. El aumento de la capacidad se planea lograr por medio de la ampliación y remodelación de instalaciones de la planta y por la transferencia de los procesos de manufactura de varios productos, de las áreas en donde se fabrican actualmente (origen) a las áreas nuevas ampliadas o remodeladas que los acogen (destino). Este movimiento de productos dejará espacios libres para que sean ocupados por nueva maquinaria y equipo.

Durante la etapa de planeación del proyecto, una actividad de los gerentes es definir el orden de transferencia de los productos, para así dar inicio, a todas las demás actividades del proyecto y a las diferentes tareas de los departamentos involucrados. Es en esta actividad de definición de transferencia de productos, en donde este trabajo se enfoca y desarrolla.

En el problema de decisión por resolver, no existe un solo criterio de evaluación que capture adecuadamente el efecto o impacto que implica transferir un producto antes que otro, en otras palabras, es un problema multicriterio, donde, la decisión no es responsabilidad de un solo decisor, se requiere del consenso de un grupo de decisores para realizar la transferencia de los productos.

Los gerentes han enfrentado estas situaciones anteriormente; la evaluación de un conjunto de productos o alternativas, por medio de más de un criterio para alcanzar un objetivo específico. La información necesaria para hacer esta actividad, usualmente es plasmada en una matriz de  $n$  alternativas y  $n$  criterios, que permite visualizar el problema de decisión y sirve como herramienta para conducir la discusión y establecer sus preferencias. Debido a la falta de una metodología o algoritmo que permita comparar de una forma sistemática cada uno de los valores en la matriz, los decisores están limitados para establecer sus preferencias de un producto sobre otro. Esto trae como consecuencia que se simplifique el análisis al evaluar las alternativas sin considerar todos los criterios establecidos inicialmente. Por otro lado, algunos criterios son subjetivos, valorados de acuerdo con la experiencia de alguno de los decisores, los cuales no pueden ser incorporados adecuadamente al análisis. Finalmente, en muchas ocasiones, surge un gerente que impone sus puntos de vista y toma la decisión con base a restricciones y beneficios propios. Ante esta situación, surge la necesidad de estudiar y utilizar un método con un enfoque multicriterio para aplicarlo al proceso de toma de decisiones, buscando las

siguientes ventajas: 1. la construcción de una base para el dialogo entre los diferentes agentes de decisión, 2. una posibilidad de trabajar con subjetividades, incertidumbres e imprecisión, elementos siempre presentes en procesos de esta naturaleza y 3. una visualización de cada solución potencialmente satisfactoria como un compromiso entre los diferentes puntos de vista en conflicto.

Existen varios métodos multicriterio, entre estos está la familia Electre (*Elimination et choix traduisant la realite*) y sus diferentes versiones ( I, II, III, IV, IS y Tri) cuyo interés es proponer procedimientos para la solución de diferentes tipos de problemas suscitados en el tratamiento de la teoría de decisión. Estos métodos emplean relaciones de sobreclasificación (*outranking*) para decidir sobre una solución que, sin ser óptima, pueda ser considerada satisfactoria y, de ese modo, obtener una jerarquización de las alternativas.

En este trabajo, el total de los productos que van a ser transferidos de un área (origen) a otra área (destino), son dispuestos en grupos de acuerdo a características y circunstancias propias, con el objetivo de lograr una mayor eficiencia y control tanto administrativo como operativo. Cada uno de estos grupos de productos, es considerado como una alternativa, la cual, tiene que ser evaluada por un conjunto de criterios para determinar la clasificación (*ranking*) de las alternativas en un orden en que, las más preferidas serán transferidas en primer lugar y las menos preferidas en último lugar

El método multicriterio seleccionado para hacer la evaluación de las alternativas es Electre III. Este método tiene características únicas que no se encuentran en otros métodos, como son, el concepto de sobreclasificación (*outranking*) y de umbrales de preferencia e indiferencia, que lo hacen adecuado para su aplicación en este tipo de problemas de decisión.

Los métodos multicriterio, surgen de manera formal en ambientes académicos y orientados a aplicaciones reales a finales de 1960 y durante 1970. Estos trabajos pioneros, reflejan una notable insatisfacción con las metodologías de evaluación de alternativas en proyectos de cualquier índole que existían en ese entonces, en donde las consecuencias son reducidas a unidades monetarias, como el análisis costo beneficio, con la imposibilidad de lidiar simultáneamente con múltiples categorías de consecuencias, monetarias y no monetarias (Autran, Campos, Queiroz, de Souza, & Queiroz, 2011).

La búsqueda de eficiencia y productividad en las empresas, obliga a adoptar metodologías de apoyo en la toma de decisiones, en escenarios donde intervienen múltiples variables o criterios de selección. Las condiciones actuales que imperan en el entorno, se distinguen por la rapidez con las que se suscitan los cambios, lo cual implica, que los directores y gerentes, están obligados a tomar decisiones constantemente, que dependen de múltiples criterios o atributos de tipo cuantitativo, cualitativo o de una mezcla de ambos. Lo anterior lleva a reconocer que cada vez es más necesaria la utilización de metodologías que permitan reducir o atemperar el riesgo que suponen las conjeturas y supuestos

improvisados en el afán de alcanzar mejores niveles de competitividad en el seno de las empresas y en los sectores industriales.

La redacción de este trabajo se fundamenta en la estructura conocida por las siglas IMRyD: Introducción, Metodología, Resultados y Discusión de los autores: Day & Gastel (2006), Evans & Gruba (2002), Matthews, Bowen, & Matthews (2000) y Wilkinson (1991) y en el estilo de referencias APA 6ta edición.

Como características especiales se presentan en letra cursiva las palabras que están en un idioma diferente al español (exceptuando la sección del abstract) y en negritas los títulos de: capítulos, secciones y subtemas que están contenidas en estos, así como las letras a y b cuando estas son usadas para identificar una alternativa.

El trabajo de tesis está organizado como sigue:

Capítulo 1: Consiste en la introducción del trabajo. Se hace una breve descripción del entorno económico de la industria farmacéutica en México. Las proyecciones de crecimiento, hacen del país un lugar atractivo para invertir. Se describe la situación que afrontan los gerentes de un sitio de manufactura de medicamentos y de las decisiones que tienen que tomar ante proyectos de inversión en; construcción, ampliaciones y remodelación de las instalaciones, debido a esto, el capítulo continua con la explicación del proceso de toma de decisiones y de dos metodologías de ayuda en la toma de decisiones dentro de los proyectos de ingeniería e infraestructura. Se hace una breve descripción de la compañía farmacéutica en donde se realiza el presente trabajo y de la situación que enfrenta, ante un proyecto de ampliación de instalaciones. Se menciona el método multicriterio Electre III, como uno de los más indicados para ayudar en el proceso de toma de decisiones en la etapa de planeación de una tarea particular dentro del proyecto de ampliación. El objetivo del trabajo y la justificación forma la parte final de este capítulo.

Capítulo 2: Se explica el proceso para la solución del problema planteado y se procede con la descripción teórica y metodológica del método Electre III, como herramienta para la evaluación de las alternativas de solución. También en este capítulo se hace la descripción de dos procesos importantes, que son; definición de los valores de peso de los criterios para evaluar las alternativas y la determinación de umbrales de preferencia, indiferencia y veto.

Capítulo 3: Se establece el objetivo en la transferencia de los productos de un área a otra. Se definen las alternativas de solución y los criterios por medio de los cuales serán evaluadas. Se obtiene el desempeño de cada alternativa en los diferentes criterios. Posteriormente, se definen los valores de peso y umbrales. La información obtenida es concentrada en la matriz de desempeño iniciando con esto el

proceso de evaluación de alternativas por medio de Electre III. Este capítulo concluye con la obtención de dos preórdenes.

Capítulo 4: Se hace la combinación de los dos preórdenes para obtener una clasificación final no definitiva. Se procede con un análisis de sensibilidad, en el que se plantean diferentes escenarios, el análisis de estos, en conjunto con la clasificación final no definitiva, dan como resultado una estrategia final y definitiva para la transferencia de los productos. Principales aportaciones del trabajo y necesidades futuras de investigación son descritas en la última parte del capítulo, siguiendo con la sección de conclusiones y recomendaciones

La última parte del trabajo consiste en las referencias bibliográficas utilizadas y de un glosario y listado de acrónimos para facilitar la lectura de la tesis.

Quiero agradecer al Maestro Gustavo Mazcorro Téllez director de este trabajo de tesis por su, orientación y enseñanza en el campo de la Decisión Multicriterio y sin cuyo apoyo esta tesis no hubiera sido posible.

Mi agradecimiento también a los Maestros: Fernando Sánchez Alvarado, Mario Aguilar Fernández, Guillermo Pérez Vázquez y Faustino García Sosa, por el tiempo que me dedicaron, por sus comentarios, observaciones y valiosas aportaciones durante el proceso de elaboración de la tesis.

# Capítulo 1 Introducción

Una de las actividades gerenciales a nivel estratégico que es ejecutada en los sistemas de producción, es el crecimiento y desarrollo de su capacidad. Las decisiones para incrementar la actividad productiva se fundamenta en la necesidad de maximizar el valor de la compañía. En los proyectos de ampliación de capacidad, los gerentes o decisores, se enfrentan con la tarea de clasificar y dar prioridades a un conjunto de alternativas, que son evaluadas en términos de diferentes criterios (también; atributos u objetivos), con una importancia o peso propio. Dependiendo del detalle de análisis, más datos pueden ser incluidos para evaluar las alternativas. La cantidad de información que es generada, tiene que ser considerada de manera simultánea y administrada eficientemente.

Este capítulo hace una breve descripción del entorno económico de la industria farmacéutica en México. La situación actual así como las proyecciones estimadas de crecimiento para el 2020, hacen de México un país atractivo para invertir, originando con esto proyectos de inversión, especialmente en el área de ingeniería e infraestructura.

Los directores y gerentes de una compañía, responsables de dirigir y coordinar proyectos como los descritos arriba, se ven inmersos en un proceso continuo de toma de decisiones durante las etapas de planeación y ejecución de estrategias para lograr los objetivos establecidos, es por esto que en este capítulo también se explica el proceso de la toma de decisiones y su metodología. Se describen dos metodologías de ayuda en la toma de decisiones que son empleados en este tipo de proyectos, las cuales son; el análisis costo beneficio y los métodos multicriterio, detallando estos últimos.

El capítulo continúa con la descripción de la situación de la compañía farmacéutica en donde se hace el presente trabajo de tesis. La compañía farmacéutica AVE<sup>1</sup>, planea incrementar la producción a través de un proyecto de remodelación y ampliación de su planta. Una de las principales actividades del proyecto es la transferencia de la manufactura de un grupo de productos, de un área origen, a un área destino. Se tiene contemplado que el área destino sea; dentro de las instalaciones existentes y en las ampliaciones nuevas que se hagan a la planta. A partir de este punto, se define el problema y se explican las razones para dar prioridades a la reubicación de productos. En términos de las características del problema, se menciona el método Electre III. Se justifica su aplicación para evaluar las alternativas relacionadas con el establecimiento de prioridades para la transferencia de productos. También en este capítulo, queda establecido el objetivo de este trabajo.

---

<sup>1</sup> A lo largo del trabajo, la compañía farmacéutica será identificada como AVE.

## 1.1 Antecedentes

### **Situación económica de la industria farmacéutica en México**

La industria farmacéutica en México, de acuerdo con los censos económicos de 2009 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, representa en promedio, el 1.2% de Producto Interno Bruto Nacional (PIB) siendo las preparaciones farmacéuticas, la novena actividad más importante de la economía mexicana y la cuarta más destacada en el sector manufacturero con el 7.2% del PIB sectorial, generando aproximadamente 65,203 empleos (CANIFARMA, 2014).

México es un importante productor de medicamentos de alta tecnología, en donde se han establecido 14 de las 15 principales empresas a nivel internacional convirtiéndolo en uno de los principales centros manufactureros a nivel mundial, con un total de 678 unidades económicas entre oficinas administrativas de ventas y plantas productivas, estas últimas concentradas en la ciudad de México y en los estados de Jalisco, México, Puebla y Morelos. En 2012 la producción alcanzó los 10,757 millones de dólares (mdd) y con una tasa media de crecimiento anual estimada del 9% se espera que alcance un valor de 21,475 mdd para el 2020 (PROMÉXICO, 2014). Para realizar la distribución del producto terminado las diferentes compañías se apoyan en grandes distribuidores como son Nacional de Drogas (Nadro), Casa Saba, Casa Marzam, Farmacos Especializados y Proveedora de Medicamentos (Yáñez, 2011). En lo que respecta a las exportaciones, México fue el principal exportador de América Latina en 2012 por un valor total de 1,874mdd, siendo los principales destinos de exportación Estados Unidos, Venezuela, Panamá, Brasil y Colombia.

Desde la perspectiva del consumo, México es el segundo mercado más grande en Latino América. En 2012 el consumo registró 13,663 mdd y se espera que en el 2020 sea de 26,276 mdd, con una tasa media de crecimiento anual estimada de 8.8% (PROMÉXICO, 2014). Un gran porcentaje de la demanda del medicamento se genera por la influencia que las farmacéuticas ejercen sobre el médico, por ejemplo: visitas a médicos y obsequio de muestras solicitando que prescriban los medicamentos de la compañía, apoyo a médicos para que asistan a conferencias, congresos y seminarios, además de campañas publicitarias. En el caso específico de farmacias integradas dentro de las grandes cadenas de detallistas como; Walmart, Comercial Mexicana, Soriana, Chedraui, etc., los grandes distribuidores como los mencionados anteriormente, se encargan de vender las medicinas de acuerdo a los pedidos que estas cadenas les solicitan (Yáñez, 2011).

En los últimos años, México se ha convertido en un país atractivo para invertir en la industria farmacéutica debido a su amplio mercado y a las mejoras en el marco legal para proteger la propiedad intelectual. Nuevos nichos de negocio se han abierto como el de los medicamentos genéricos y los biofármacos. Empresas extranjeras y mexicanas están sumamente interesadas en invertir. Por ejemplo, en 2012, empresas mexicanas como; Silanes, Sanfer, PISA, Probiomed y Rimsa, invirtieron 2,526 mdd

en la ampliación y modernización de sus plantas productivas. Empresas extranjeras como Daiichi Sankyo Company y Chiesi Farmaceutici han iniciado operaciones en el país, con la finalidad de comercializar sus productos en América Latina. Boehringer Ingelheim abrió una nueva planta en Guadalajara para desarrollar y producir productos veterinarios biológicos y Apotex invirtió en una nueva planta y un centro de distribución por un total de 45mdd (PROMÉXICO, 2014). Adicional a esto, la industria farmacéutica se ha visto inmersa en proyectos continuos de fusiones y adquisiciones para unificar sus inversiones, criterios comerciales, patrimonios, etc., con el objetivo de maximizar el valor de la empresa.

Gran parte de la inversión que se hace en la industria farmacéutica se destina a la construcción y ampliación de instalaciones de las áreas industriales. Las empresas que tiene contemplado proyectos de este tipo, tienen que analizar varios factores, por ejemplo (Cuevas, 2014):

- Proyección del crecimiento de la empresa para dimensionar las nuevas instalaciones
- Portafolio de productos y su potencial para innovarlos o crear nuevos productos
- Equipos de producción, materiales de envase y acondicionamiento que serán incluidos en el diseño, deben ser considerados como elementos clave, ya que deben ser compatibles en el proceso en el que participaran y entre ellos mismos.
- Los materiales que se utilizan en las diferentes etapas del proceso productivo tienen diferentes características, a partir de las cuales se podrán analizar y entender las necesidades de espacio y condiciones específicas de proceso.
- Los aspectos de ecología y cuidado del medio ambiente, son ahora temas indispensables para ser incorporados en el diseño global del funcionamiento de una planta.

Desde el punto de vista de los usuarios que operarán en las instalaciones es muy importante especificar las necesidades actuales y futuras que deberán ser cubiertas. El grupo de usuarios deberá buscar que las nuevas instalaciones faciliten la realización de su trabajo, simplifique el movimiento de materiales, permita la ubicación más adecuada de los equipos, mejoren el flujo de los productos durante el proceso para que este se lleve a cabo de una manera directa, evitando problemas de; confusión, mezclas de materiales, contaminación y recorridos innecesarios. Estas especificaciones, factores y muchas otras consideraciones regulatorias y tecnológicas, deben ser atendidas por un grupo de especialistas de varias disciplinas. Dentro del área de operaciones industriales, muchas de las definiciones, decisiones y cursos de acción, son tomadas por el comité gerencial de la planta productiva.

En los proyectos de construcción y ampliación de instalaciones, los gerentes de la planta están involucrados en un proceso de toma de decisiones que va definiendo la estrategia y su ejecución para alcanzar los objetivos planteados. Este proceso, resulta ser complejo debido a que involucra a un gran número de actores, en este caso, los gerentes de los diferentes departamentos de la planta, cuyos

objetivos particulares frecuentemente entran en conflicto, en ocasiones, sus aportaciones son parciales y muchas veces algunos de ellos presentan soluciones independientes, otros permanecen pasivos y en menor porcentaje otros llegan a ser agresivos. La planeación de este tipo de proyectos es un proceso racional dentro del cual, las acciones futuras de los actores, están encaminadas a utilizar los recursos escasos de tal manera que los objetivos sean maximizados.

## **Proceso de la toma de decisiones y metodología**

El estudio de los procesos de decisión y sus bases analíticas engloban lo que hoy en día se conoce como Teoría de la Decisión, la cual surge de la necesidad de apoyar la necesidad humana en la toma consistente de buenas decisiones. ¿Qué se entiende por decisión? Decisión es un proceso que conduce directa o indirectamente a la elección de al menos una de entre un conjunto de alternativas, cada una de las cuales son candidatas para resolver el problema específico. ¿Cómo hacer una buena toma de decisiones? En la búsqueda de respuesta a esta pregunta fue que la Teoría de la Decisión se constituyó en un campo de conocimiento científico, en la cual, un consenso de estudiosos de la materia, coinciden en que, el proceso de toma de decisiones consta de las siguientes 3 etapas: estructuración del problema, análisis de la decisión y síntesis (Autran, Campos, Queiroz, de Souza, & Queiroz, 2011).

- Estructuración del problema. Consiste en la organización de las ideas antes de tomar una decisión. Aquí se identifican los siguientes pasos no necesariamente transitados de manera secuencial:
  - Asegurarse de estar resolviendo el problema correcto
  - Pensar lo suficiente en el problema manteniendo distancia de las emociones
  - Buscar toda la información relevante
  - Identificar con claridad los asuntos importantes
  - Considerar explícitamente los compromisos éticos y morales
  - Considerar un conjunto de alternativas viables lo más amplio posible
  - Listar los objetivos del proceso de toma de decisiones
  - Para cada objetivo listado, hacer los criterios de evaluación de las alternativas.
  - Determinar de manera clara las consecuencias de cada alternativa en relación con los criterios.
- Análisis de la decisión. Consiste en los siguientes pasos:
  - Usar el método analítico más adecuado al problema
  - Hacer una crítica de los resultados obtenidos con el método analítico
- Síntesis. Consiste en producir recomendaciones objetivas para el decisor, incluyendo una propuesta de solución y la mejor forma de implementarla garantizando una documentación transparente de todas las etapas con un punto de vista de aprendizaje organizacional.

Dentro del contexto de proyectos de infraestructura se enfrentan problemas de decisión con múltiples objetivos y con información cuantitativa y cualitativa. Por ejemplo, una empresa interesada en ampliar su



capacidad productiva tiene que decidir si realiza ampliaciones a sus instalaciones actuales o si construye un nuevo edificio. Si decide construir un nuevo edificio deberá identificar el mejor sitio para ubicarlo, factores como costo de terreno y de construcción pueden variar de un sitio a otro, por lo que un criterio de evaluación de alternativas para la selección del mejor sitio podría ser, minimizar el costo de la construcción y la adquisición del terreno. Sin embargo, la empresa podría estar interesada en considerar criterios adicionales como la disponibilidad de infraestructura, servicios de transporte, costo de energía, cargas impositivas locales, etc. Este caso ilustra la complejidad de ciertos problemas de decisión, en los cuales una alternativa puede ser considerada como la mejor en función a uno de los criterios pero la peor en función de otro. Por lo tanto un método analítico para la evaluación de las alternativas es requerido. Existen dos métodos de evaluación que son usados comúnmente en la planeación de los proyectos de infraestructura (Rogers, Bruen, & Maystre, 2000):

- Análisis costo beneficio y sus variantes. Esta metodología es considerada como el primer modelo formal de decisión utilizado en la planeación de grandes proyectos de ingeniería, la cual implica el cálculo, en una forma directa, de valores monetarios para los diferentes resultados del proyecto. El problema básico al que se enfrentan los usuarios de esta metodología, es el hecho de que los criterios para evaluar el proyecto, tienen que ser expresados en términos monetarios sin ambigüedades, ya que el enfoque costo-beneficio requiere una transformación de todos los efectos de las opciones del proyecto en una dimensión monetaria. Esto representa una dificultad en la aplicación práctica de la metodología ya que los criterios que no pueden ser fácilmente transformados en unidades monetarias no son considerados.
- Métodos multicriterio. Estos métodos tienen una perspectiva diferente. En lugar de transformar en términos monetarios los diferentes resultados del proyecto, este intenta considerar las diferentes dimensiones del problema de decisión de una manera balanceada. La principal ventaja de estos métodos es su capacidad para considerar un rango amplio de criterios de evaluación relevantes aun cuando estos criterios no puedan ser asociados a resultados monetarios, es decir, permite la posibilidad de trabajar con subjetividad, incertidumbre e imprecisión y una visualización de cada solución potencialmente satisfactoria como un compromiso entre los distintos puntos de vista en conflicto. Los métodos multicriterio más relevantes usados en los proyectos de inversión en infraestructura son:
  - Métodos de listas de verificación
  - Teoría de Utilidad MultiAtributo (MAUT)
  - Proceso Jerárquico Analítico (AHP)
  - Métodos Electre.

La evaluación de los proyectos y la toma de decisiones, requiere de la especificación precisa de un conjunto de alternativas propuestas, así como de todos los criterios relevantes de evaluación. Particularmente en los proyectos de inversión en infraestructura existen muchos objetivos relevantes que

no pueden ser compensados entre ellos únicamente en términos monetarios, por lo tanto, la evaluación de alternativas con base a un criterio de evaluación unidimensional (unidades monetarias) es un proceso limitado y cargado de dificultades. Cuando un problema de decisión con múltiples objetivos es identificado, el uso de los métodos multicriterio para su evaluación, proporciona un enfoque lógico y flexible, siendo los métodos Electre (*Elimination et choix traduisant la réalité*) los más adecuados para ser usados en problemas de decisión en los proyectos de ingeniería e infraestructura. (Rogers et. al. 2000 ; Siskos & Hubert 1988 ; Roy & McCord 1996 ; Rogers & Duffy 2012).

La familia Electre forma parte de los métodos de sobreclasificación, y está conformada por varias versiones, cada una con características que las diferencian y los hacen adecuados para diferentes tipos de problemas de decisión. La versión Electre III, está diseñada para obtener como resultado un orden o clasificación (*ranking*) de alternativas. Conceptos y características de esta versión, son explicados en el capítulo 2. Electre III requiere de la definición de valores de peso ( $w$ ) para cada uno de los criterios y valores de preferencia ( $p$ ), indiferencia ( $q$ ) y de veto ( $v$ ) para realizar los cálculos de clasificación y ordenamiento (Roy B. 1978 ; Marzouk 2011 ; Rui Figueira, Greco, & Roy 2009 ; Belton & Stewart 2002 ; Ishizaka & Nemery 2013 ; Tzeng & Huang 2011).

## La empresa

La compañía AVE es una empresa transnacional dedicada a la fabricación de medicamentos para uso humano en diferentes formas farmacéuticas: cápsulas, comprimidos, grageas, soluciones, ampollas, suspensiones y supositorios.<sup>2</sup> Sus oficinas administrativas se ubican en México D.F y su planta industrial (OC) en Lerma, Estado de México. Debido a un proceso de fusión entre la compañía AVE y la compañía farmacéutica SAN, la fabricación y el acondicionamiento de productos deben realizarse en un solo sitio. La planta OC es la elegida para absorber la producción de las dos compañías.

El incremento en producción contemplado en OC obliga a realizar adecuaciones, previas a la recepción de la producción de la compañía SAN. Las adecuaciones se realizan mediante proyectos internos de remodelación, ampliaciones, cambios de lugar de áreas productivas y transferencia de productos de las

---

<sup>2</sup> Forma farmacéutica: Es una mezcla de sustancias activas y auxiliares a la que se les da una forma o estructura para que puedan ser administradas fácilmente al paciente.

Cápsulas: Son pequeños recipientes de gelatina, compuestos de dos secciones, una de la cuales ajusta sobre la otra, que contienen una determinada cantidad de medicamento. Comprimidos: Mezcla de polvo o granulado compactado en una forma determinada. Grageas: Es un comprimido abovedado de ambos lados recubierto por varias capas de una masa azucarada. Soluciones: Es la mezcla de un fármaco soluble con un líquido (agua o alcohol) Ampollas: Son recipientes de vidrio pequeños que contienen una solución pura y libre de microorganismos cerrados herméticamente. Suspensiones: Es una preparación de fármacos sólidos e insolubles en un líquido. Supositorios: Es una masa grasa sólida en forma de proyectil en la cual el fármaco se encuentra disuelto o dispersado. A la temperatura del cuerpo se derriten y deshacen.

áreas donde se fabrican actualmente (áreas origen), a las áreas nuevas, remodeladas o ampliadas (áreas destino). Es un hecho que la prioridad que se defina para la transferencia de los productos dictará también la prioridad con la que se harán remodelaciones y ampliaciones en la planta, así como el trabajo documental y administrativo que estas actividades implica.

La transferencia de productos considera factores como: tipo de productos, grado de dificultad de reubicación del equipo, volúmenes de producción y restricciones de tiempo para el cambio. Esto obliga a diseñar un plan que optimice los recursos disponibles, mediante la definición de una estrategia de prioridades de transferencia de productos.

El problema que se plantea como tesis, es fundamental, mediante la aplicación de un modelo multicriterio, prioridades de transferencia de los productos. Factores como los mencionados arriba, así como las razones que se mencionan a continuación, obligan a considerar prioridades en la transferencia de los productos:

- Importancia del producto. De acuerdo con la utilidad monetaria que cada producto representa para la compañía se clasifican como A, B ó C. Los A son los más importantes; se consideran productos estratégicos. Los B son productos que aportan una gran utilidad a la empresa y los C son los que aportan menor utilidad. La dirección de la compañía y el departamento de ventas no permiten el riesgo de faltantes en productos A, ya que éstos aportan el mayor porcentaje de ingresos a la compañía o son productos líderes en el mercado.
- Costos de inventario. Es necesario mantener inventarios de productos terminados para cubrir el presupuesto de ventas durante el tiempo que dure la transferencia. El departamento de planeación busca tener el menor inventario de los productos más costosos, reduciendo el periodo de almacenamiento, por lo que estos productos deben de ser los primeros en ser transferidos. Por supuesto, se tiene que considerar la información que el departamento de compras proporciona en cuanto a la disponibilidad de materias primas y materiales para la fabricación del inventario.
- Optimización y reformulación. La transferencia es una oportunidad para hacer optimizaciones o reformulaciones en los productos; buscando mejoras en costos, desempeño de componentes de productos o desempeño de procesos. Dependiendo de los cambios y del nivel de importancia de éstos, puede ser necesario fabricar lotes piloto y elaborar estudios de estabilidad, así como solicitar autorizaciones a COFEPRIS.<sup>3</sup> Los niveles de importancia y los requisitos se publican en el proyecto de norma oficial mexicana NOM-257-SSA1-2013. Las diferentes áreas de la compañía, como son: ingeniería de empaque, mantenimiento (proyectos) y tecnología industrial pueden tener diferentes preferencias para hacer transferencias de productos, dependiendo del tipo de optimización o reformulación.

---

<sup>3</sup> Comisión federal para la protección contra riesgos sanitarios. Órgano desconcentrado con autonomía administrativa, técnica y operativa por medio del cual la Secretaría de Salud ejerce las atribuciones de regulación, control y fomento sanitario en México.

## 1.2 Objetivo

El propósito de este trabajo es evaluar y definir las prioridades para transferir las actividades de manufactura de un grupo de productos de un área origen a un área destino en la planta de producción de la compañía farmacéutica AVE. La responsabilidad de asignar las prioridades recae en el comité gerencial de la planta quienes determinan; las alternativas a evaluar, los criterios relevantes de evaluación y finalmente, el orden en que serán transferidos los productos. El modelo multicriterio escogido para hacer el análisis, es el método Electre III, el cual permite manejar el aspecto subjetivo que acompaña muchas veces a los criterios de evaluación de las alternativas. Es un modelo no axiomático que considera las preferencias e indiferencias de los decisores y el resultado que se obtiene de éste es una clasificación o *ranking* de alternativas.

## 1.3 Justificación

En ocasiones anteriores, cuando la compañía AVE ha realizado proyectos de transferencia de productos, de un área a otra, los líderes encargados de la planeación y ejecución de los proyectos definen grupos de productos de acuerdo con las características y condiciones de cada producto terminado. Posteriormente, la información es integrada en una matriz con los criterios para su evaluación; se hace una asignación de pesos a los criterios de evaluación para determinar su grado de importancia y en reuniones con los diferentes departamentos se analiza la información. Argumentos a favor, y argumentos en contra, se hacen usualmente de forma subjetiva para asignar prioridades de transferencia. Se observan las siguientes situaciones con respecto a esta forma de establecer prioridades:

- La matriz de información con los diferentes criterios de evaluación es analizada en las reuniones; pero debido a que la matriz es un concentrado de información numérica, los decisores no pueden evaluar y comparar correctamente grupos de productos, y terminan simplificando las comparaciones con base en dos criterios, o tres, como máximo, dejando fuera el resto de las consideraciones.
- Si los decisores se propusieran terminantemente comparar todos los grupos de productos, considerando todos los criterios, no podrían hacerlo de manera racional debido a la falta de un método para hacer las comparaciones.
- Algunos criterios son subjetivos, valorados de acuerdo con experiencias o suposiciones; no se tiene una metodología para integrar esta información en la evaluación y un análisis global para determinar prioridades.
- Existen problemas al integrar en la evaluación y análisis, el sentido de preferencia que presentan los criterios de evaluación.
- Surge un departamento líder, el cual finalmente toma la decisión en cuanto a las prioridades, de acuerdo con restricciones y beneficios propios.

Los puntos anteriores originan que el análisis de la información, y por lo tanto las prioridades asignadas, no sean óptimas, es decir, el método, que la compañía AVE utiliza para definir prioridades en sus proyectos internos, no le permite administrar toda la información implicada, debido a la falta de un algoritmo. Ante esta situación, el método Electre III es una herramienta útil porque puede manejar las características que presenta este tipo de problema, las cuales son:

- Se tiene un conjunto de alternativas no necesariamente exclusivas
- Una familia de criterios de evaluación
- Imprecisión o incertidumbre para definir el desempeño de la alternativa en uno o varios criterios de evaluación
- Un modelo integral de preferencias asociado a los decisores el cual permite la indecisión en las relaciones de preferencia entre alternativas

El método Electre III posee una gran adaptabilidad a la calidad de la información disponible usada en el proceso de evaluación de proyectos de ingeniería e infraestructura. Se puede decir que refleja una solución más realista al problema de elegir las mejores alternativas en un contexto donde la calidad de los datos disponibles puede presentar limitaciones importantes.

## 1.4 Hipótesis

La utilización de la metodología multicriterio Electre III, es una herramienta sólida y de gran ayuda para hacer la comparación entre alternativas, establecer diferentes escenarios de solución, identificar los parámetros que definen a cada uno de esos escenarios y por lo tanto decidir sobre el más conveniente.

En este capítulo se ha presentado la situación general de la empresa farmacéutica AVE así como el entorno económico en el que está inmersa. Dentro de la empresa, los gerentes de la planta productiva se enfrentan a un proyecto de reubicación o transferencia de la manufactura de un grupo de productos, donde definir la prioridad, es una de las actividades más importantes. Se ha propuesto el método Electre III como herramienta de ayuda en el proceso de toma de decisiones para definir la clasificación (*ranking*) de transferencia. La justificación para ocupar este método también se ha descrito en este capítulo así como el objetivo general de este trabajo de tesis. La explicación del método Electre III así como su metodología se abordan en el capítulo siguiente.

## **Capítulo 2 Metodología de solución y descripción del método Electre III**

Los modelos multicriterio de toma de decisiones, son metodologías comúnmente usadas en Europa en las áreas de ingeniería y proyectos. Estas metodologías buscan mejorar la calidad de la decisión por medio de un proceso más claro, racional y eficiente. Muchas compañías y organizaciones se enfrentan al problema de decidir sobre la asignación de prioridades a diferentes actividades o alternativas dentro de un proyecto. Cada una de estas actividades, genera efectos positivos o negativos en la organización, dependiendo de la prioridad con que sean ejecutadas. Cuando los gerentes o decisores se enfrentan a situaciones como esta, no es posible para un solo decisor o grupo de decisores, considerar toda la información disponible de forma simultánea, usando solamente su experiencia y conocimientos. En estas situaciones, los gerentes necesitan utilizar metodologías de decisión y herramientas válidas, para analizar todos los aspectos involucrados y tomar una decisión óptima.

En este capítulo se presenta la metodología general de solución que se aplica para determinar las prioridades de transferencia de los productos. También se explica y se describe el método Electre III, usado para la evaluación y clasificación de las alternativas.

Los métodos multicriterio utilizan varios criterios de evaluación. Los criterios son las herramientas que permiten comparar las alternativas de acuerdo con los diferentes ejes en los cuales se desplaza el decisor para justificar, discutir y cambiar sus preferencias. Los pesos asignados a los criterios de evaluación, son una medida de importancia relativa. Existen varias técnicas para asignar estos pesos. En este capítulo se explica una de ellas llamada, matriz de resistencia al cambio.

En la última parte del capítulo se describen los conceptos de los umbrales de preferencia, indiferencia y veto y se explica el método que será usado para determinar los valores de cada uno de ellos para aplicarlos en este trabajo.

### **2.1 Metodología de solución**

El problema de determinar prioridades para transferir productos requiere para su solución que se asegure la utilización eficiente de los recursos disponibles, considerando las necesidades y limitaciones de cada uno de los departamentos involucrados en el proceso. La planeación y ejecución de las transferencias de productos son procesos racionales, en los cuales las acciones que se realicen son con base en los recursos escasos de la compañía, buscando siempre que los objetivos sean maximizados. De acuerdo con diferentes autores, entre ellos; Jennings & Wattam (1996), Robbins (1999), Hammond, Keeney, & Raiffa, (1999), esta situación representa un proceso de solución de problemas que puede estructurarse en varios pasos, de los cuales se aprecian fundamentalmente los siguientes:

1. Definición del problema.
2. Definición de objetivos.
3. Generación de alternativas
4. Establecimiento de criterios o medidas de efectividad.
5. Evaluación de alternativas.
6. Elección de la alternativa o alternativas

La determinación de prioridades de transferencia debe producir eficiencia en la utilización de los recursos humanos, técnicos y financieros de la compañía, además de lograr mayor apego a la realidad de las siguientes actividades:

- Elaboración de programas de fabricación de lotes piloto y de lotes industriales de los productos que son transferidos.
- Fabricación de inventarios de seguridad adecuados.
- Establecer la secuencia en que se harán las ampliaciones.
- Reubicación de maquinaria o adquisición de equipo nuevo.
- Elaboración de presupuestos de capital.

La definición del orden en que los productos tienen que ser transferidos, es un problema que no puede ser resuelto por el criterio y necesidades de un solo departamento. La definición de prioridades de transferencia debe involucrar a todos los departamentos relacionados con el problema con la finalidad de tener más criterios a considerar y evaluar, buscando con ello una solución apegada a la realidad.

Para determinar la prioridad u orden en que los productos deben ser transferidos, se siguen los pasos del proceso de solución de problemas descritos arriba y esquematizados en la Figura 1.

1. Definición del problema. La situación que enfrenta la organización y el problema de asignar prioridades a los productos que van a ser transferidos, son descritos en la sección 1.1 y 1.2
2. Definición de objetivos. Antes de proceder a planear las actividades de transferencia deben quedar asentados los objetivos que se persiguen con la operación. Este paso se desarrolla en la sección 3.1
3. Generación de alternativas. El total de productos que deben ser transferidos se divide en pequeños grupos de acuerdo con características comunes que faciliten su manejo. Estos grupos son las alternativas a las cuales serán clasificadas y de esta manera obtener la prioridad de transferencia. Este paso se desarrolla en la sección 3.2
4. Establecimiento de criterios. Este paso considera los intereses, valores y preferencias de los departamentos de la empresa involucrados en la transferencia de productos. La identificación de criterios es importante, pues lo que es relevante para un departamento puede no serlo para otro. Cualquier factor no identificado en este paso se considera irrelevante en el momento de definir la prioridad de transferencia de los productos. Este paso se desarrolla en la sección 3.3

5. Evaluación de alternativas. El valor o importancia de cada alternativa está determinado por el desempeño que muestre en cada criterio. Este proceso se realiza usualmente mediante algún modelo matemático apropiado. De acuerdo con el problema planteado, en el que existen varias alternativas (grupos de productos) y varios criterios, (algunos subjetivos como intereses o preferencias de los departamentos) para evaluarlas, los modelos multicriterio de ayuda a la decisión (MCDA) son los más apropiados. (Rogers et. al. 2000 ; Hokkanen & Salminen 1997 ; Georgopoulou, Lalas, & Papagiannakis 1997). Este paso se desarrolla a partir de la sección 3.6
6. Elección de la alternativa o alternativas. El resultado de aplicar Electre III es una clasificación de las alternativas (grupos de productos a transferir) que indica la prioridad u orden de transferencia. Este paso se desarrolla en el capítulo 4.

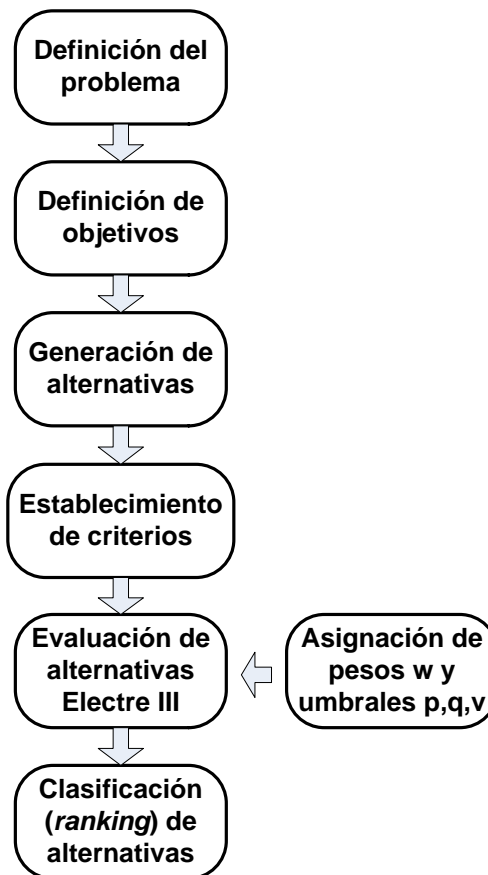


Figura 1: Proceso solución de problemas  
Fuente: Elaboración propia con base en Hammond et. al. (1999)

Los pesos para los criterios de evaluación de alternativas y la definición de los umbrales de preferencia, indiferencia y veto que son necesarios para la evaluación de alternativas se desarrollan en la sección 3.4 y 3.5



## 2.2 Método de sobreclasificación Electre

En términos generales, los métodos Electre (Roy B. , 1990) consisten en un análisis sistemático de la relación entre pares de alternativas en problemas de decisión, tomando como base valores asignados por un decisor. El resultado es una relación llamada "sobreclasificación" de una opción sobre otra. Se dice que la opción **a** sobreclasifica a **b**, si se juzga que **a** es al menos tan buena como **b** y no existen argumentos que refuten lo contrario. Esto se explicará en las secciones siguientes.

El término alternativa (opción o acción potencial), se utiliza para designar algo por lo cual una decisión se materializa (Roy B. , 1990), también puede ser definido como "la materia prima" de la toma de decisiones. Las alternativas son las elecciones potenciales que el decisor tiene para lograr sus objetivos. (Hammond et. al. 1999).

El término criterio se define como una función de valor real dentro de un conjunto A de alternativas, tal que es significativo comparar dos alternativas **a** y **b** conforme a un punto de vista particular y únicamente sobre la base de dos números  $g(a)$  y  $g(b)$  (Bouyssou, 1990).

Electre está basado en un Análisis de Concordancia. Este análisis es un modelo de decisión multicriterio no compensatorio y requiere varias funciones matemáticas para indicar el grado de "dominancia" de una opción o grupo de opciones. El modelo además permite a cualesquiera dos opciones permanecer incomparables. Por ejemplo, si en el contexto de un problema la opción **a** es mejor que las opciones **b** y **c**, puede ser irrelevante analizar las preferencias entre **b** y **c**, éstas pueden permanecer incomparables sin poner en peligro el procedimiento de decisión.

El Análisis de Concordancia pretende seleccionar la mejor alternativa de un conjunto (A) de alternativas, tomando en cuenta varios criterios de evaluación. El procedimiento general es como sigue:

A las alternativas se les asigna un valor en cada uno de los criterios (j) con que son evaluadas. Estos valores conforman una matriz llamada de desempeño P, en la cual un elemento  $p_{ij}$  de P representa la evaluación del criterio j para la alternativa i. Los valores de cada criterio se representan en unidades de medida apropiadas. La matriz de desempeño es una representación técnica de los valores asignados a los criterios para cada alternativa. Además de los valores asignados a cada alternativa para cada uno de sus criterios, el proceso de selección requiere que a cada uno de los criterios se le asigne un valor de peso  $w_j$ ,  $j = 1, \dots, n$  donde n es el número de criterios. Los pesos representan las preferencias relativas del decisor para los criterios de evaluación.

Dada la matriz P y los pesos de los criterios, el Análisis de Concordancia conduce a seleccionar la mejor alternativa por medio de una comparación binaria directa. La sobreclasificación (*outranking*) de las alternativas, se determina por medio de la definición de medidas de concordancia y discordancia para

cada par de alternativas. Un análisis complementario se utiliza para identificar y eliminar la peor alternativa seleccionando la mejor. Para lograr esto, en el análisis complementario se tiene que definir umbrales (preferencia, indiferencia y veto) para las medidas de concordancia y discordancia. De acuerdo con estos resultados se obtiene la clasificación final. A continuación se presentan los detalles.

## Conceptos básicos de la metodología Electre

La metodología se basa en la comparación binaria directa de todas las opciones o alternativas del conjunto A consideradas (Rogers et. al. 2000). En su primera etapa, el método busca eliminar un subconjunto de alternativas, identificadas como las menos deseables dentro del conjunto de alternativas. Subsecuentemente, se hace un análisis complementario para seleccionar la mejor o mejores de éstas.

Inicialmente se define un conjunto concordante de criterios para cada conjunto de alternativas. Para un par de alternativas **a** y **b**, el conjunto de criterios  $J = \{ j \mid j = 1, 2, \dots, n \}$  se divide en dos subconjuntos. El primero, llamado subconjunto concordante, está compuesto por todos los criterios donde la alternativa **a** es preferida o indiferente a la alternativa **b**. El subconjunto complemento, llamado discordante, es el conjunto de criterios para los cuales la alternativa **a** es peor que la alternativa **b**.

El conjunto concordante incrementa su tamaño a medida que la alternativa **a** supera a la alternativa **b** para los diferentes criterios de decisión. El valor relativo del conjunto concordante, se calcula utilizando el índice de concordancia, el cual es igual a la suma de los pesos  $w$  de aquellos criterios contenidos en el conjunto concordante.

El índice de concordancia para un par de alternativas **a** y **b** es la suma de los pesos de los criterios para los cuales la alternativa **a** es al menos tan buena como **b**, normalizando al dividir entre la suma de todos los pesos. El índice concordante es un conjunto de valores  $c_{a,b}$  que varían de 1.0 (cuando la alternativa **a** es igual o mejor que la alternativa **b** para todos los criterios) a 0.0 (cuando la alternativa **a** es peor que la alternativa **b** para todos los criterios). El conjunto de índices concordantes forman la Matriz de Concordancia C (Figura 2). El índice concordante indica la dominancia relativa de una alternativa sobre otra, basada en la importancia relativa de los pesos de los criterios.

$$C = \begin{pmatrix} c_{a,a} & c_{a,b} & \cdot & \cdot & c_{a,m} \\ c_{b,a} & c_{b,b} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ c_{m,a} & \cdot & \cdot & \cdot & c_{m,m} \end{pmatrix}$$

Figura 2: Matriz de Concordancia  
Fuente: (Rogers et. al. 2000)

Nuevamente, para un par de alternativas **a** y **b**, el índice de discordancia mide el grado en el cual la alternativa **a** es peor que la alternativa **b**. El índice de discordancia es el valor máximo, sobre todos los criterios, que resulta de la diferencia entre el valor asignado a cada par de alternativas dividido entre la diferencia máxima posible; e indica el máximo de la diferencia entre los valores de los pares de alternativas sobre todos los criterios que pertenecen al conjunto de discordancia. Para que todos los valores del índice de discordancia se ubiquen entre 0.0 y 1.0, el procedimiento de normalización se tiene que llevar a cabo mediante la división del índice entre la diferencia máxima del criterio en cuestión. El conjunto completo de índices de discordancia  $d_{a,b}$  queda incluido en la Matriz de Discordancia  $D$  (Figura 3). La información contenida en  $D$  es complementaria y difiere fundamentalmente de la información en  $C$ . Las diferencias entre los pesos de los criterios se representan mediante el índice de concordancia, mientras que las diferencias entre los valores de los criterios son representados por el índice de discordancia. Los índices de concordancia y discordancia pueden ser vistos como medidas de satisfacción e insatisfacción que el decisor siente cuando escoge una alternativa sobre otra.

$$D = \begin{pmatrix} d_{a,a} & d_{a,b} & . & . & d_{a,m} \\ d_{b,a} & d_{b,b} & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ d_{m,a} & . & . & . & d_{m,m} \end{pmatrix}$$

Figura 3: Matriz de Discordancia  
Fuente: (Rogers et. al. 2000)

La mejor alternativa se selecciona a partir de la combinación de valores de concordancia y discordancia para cada par de alternativas. Se puede mencionar, como ejemplo, el caso más simple, en el cual una alternativa **a** es preferida sobre todas las demás en todos los criterios. Entonces  $c_{a,i} = 1.0$  y  $d_{a,i} = 0.0$  ( $i$  se refiere a todas las demás alternativas). En esta situación es obvio que la alternativa **a** sobreclasifica a las demás. Una vez que se obtienen los índices de concordancia y discordancia, la información se analiza en una fase conocida como explotación de las relaciones de sobreclasificación. Existen varias versiones del método Electre para trabajar en esta fase; las principales son: I, II, III, IV, Tri e IS. La versión que se utilice depende del tipo de criterio que se utilice. El tipo de criterio que utiliza el método Electre III es el llamado *pseudocriterio*. A continuación se explica la forma más simple de criterio y posteriormente se explica el concepto de pseudocriterio.

El concepto de “verdad” es la forma más simple de criterio, usado en una estructura de preferencias tradicional donde no existen umbrales de preferencia o indiferencia. Las diferencias entre valores de los criterios se usan para determinar la alternativa preferida. El resultado de sobreclasificación que se obtiene se llama *preorden* completo (Vincke, 1990).

Cualquier estructura de preferencia o estructura de sobreclasificación puede ser completamente caracterizada por la relación de sobreclasificación  $S$ , la cual define la condición necesaria para que la alternativa  $a$  sobreclasifique a  $b$ . Aquí, la opción  $a$  sobreclasifica a  $b$ , si el decisor prefiere (P)  $a$  sobre  $b$ , o es indiferente (I) entre las dos. Esto se expresa como sigue:

$$aSb \text{ si } aPb \text{ o } alb$$

Dentro de la estructura tradicional, las preferencias del decisor satisfacen el siguiente modelo:

$$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b)$$

$$alb \Leftrightarrow g(a) = g(b)$$

$$\forall a, b \in A$$

$$\text{Ya que } S = P \cup I, \quad aSb \Leftrightarrow g(a) \geq g(b)$$

donde  $g_j(a)$  y  $g_j(b)$  son los valores de la alternativa  $a$  y  $b$  en el criterio  $j$  respectivamente.

El pseudocriterio involucra dos umbrales debido a que el decisor no puede asignar  $g(a)$  o  $g(b)$  con precisión, por la información que tiene, por desconocimiento de la situación, o dudas sobre estos valores. Ello conduce a un modelo de preferencia que explícitamente incluye dos umbrales: un umbral de indiferencia  $q$ , abajo del cual el decisor muestra clara indiferencia entre la alternativa  $a$  y la  $b$ ; y un umbral de preferencia  $p$ , arriba del cual el decisor muestra una preferencia estricta. En medio de estos dos umbrales hay situaciones en las cuales una preferencia débil se presenta para la alternativa  $a$  sobre  $b$ ,  $a Q b$ . Esto se denota como sigue (Rogers et. al 2000):

$$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b) + p(g(b))$$

$$a Q b \Leftrightarrow g(b) + p(g(b)) \geq g(a) > g(b) + q(g(b))$$

$$a I b \Leftrightarrow g(b) + q(g(b)) \geq g(a) \wedge g(a) + q(g(a)) \geq g(b)$$

La preferencia débil (Q), indica dudas del decisor entre indiferencia (I) y preferencia estricta (P).

El método Electre III hace uso del pseudocriterio con sus umbrales de indiferencia y preferencia, para permitir cualquier imprecisión o incertidumbre en los datos. La ejecución del método Electre III, se compone de dos fases principales: 1. construcción de la relación de sobreclasificación y 2. explotación de la relación de sobreclasificación.

## Construcción de la relación de sobreclasificación

Electre III define el grado de sobreclasificación de  $a$  sobre  $b$ , denotado  $S(a,b)$  ó  $aSb$ , en términos de su índice de concordancia  $C(a,b)$  y su índice de discordancia  $D(a,b)$ .

a) El índice de concordancia es calculado para cada par ordenado  $(a,b)$  de alternativas como sigue:

$$C(a,b) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n w_j c_j(a,b) \dots \dots \dots (2.1)$$

donde  $W = \sum_{j=1}^n w_j$

$$y \quad c_j(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = 1 \text{ si } g_j(\mathbf{a}) + q_j(g_j(\mathbf{a})) \geq g_j(\mathbf{b}) \dots \dots \dots (2.2)$$

$$o \quad c_j(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = 0 \text{ si } g_j(\mathbf{a}) + p_j(g_j(\mathbf{a})) < g_j(\mathbf{b}) \dots \dots \dots (2.3)$$

de otra manera

$$c_j(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{g_j(\mathbf{a}) - g_j(\mathbf{b}) + p_j(g_j(\mathbf{a}))}{p_j(g_j(\mathbf{a})) - q_j(g_j(\mathbf{a}))} \dots \dots \dots (2.4)$$

$p_j$  = umbral de preferencia estricta para el criterio  $j$ ,  $q_j$  = umbral de indiferencia para el criterio  $j$   
 $w_j$  = peso del criterio  $j$ .

$C(\mathbf{a}, \mathbf{b})$  representa el porcentaje de pesos de los criterios que están en concordancia con la proposición “ $\mathbf{a}$  sobreclasifica  $\mathbf{b}$ ”

b) La definición de discordancia usa un umbral de veto  $v_j(g_j(\mathbf{a}))$ , tal que la sobreclasificación de  $\mathbf{a}$  sobre  $\mathbf{b}$  es rechazada si:

$$g_j(\mathbf{b}) \geq g_j(\mathbf{a}) + v_j(g_j(\mathbf{a})) \dots \dots \dots (2.5)$$

El índice de discordancia para cada criterio  $j$  es como sigue:

$$D_j(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \begin{pmatrix} 0 & \text{si } g_j(\mathbf{b}) \leq g_j(\mathbf{a}) + p_j(g_j(\mathbf{a})) \\ 1 & \text{si } g_j(\mathbf{b}) > g_j(\mathbf{a}) + v_j(g_j(\mathbf{a})) \end{pmatrix} \dots \dots \dots (2.6)$$

de otra manera

$$D_j(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{g_j(\mathbf{b}) - g_j(\mathbf{a}) - p_j(g_j(\mathbf{a}))}{v_j(g_j(\mathbf{a})) - p_j(g_j(\mathbf{a}))} \dots \dots \dots (2.7)$$

c) El grado de credibilidad de la sobreclasificación de  $\mathbf{a}$  sobre  $\mathbf{b}$  se define como sigue:

$$S(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = C(\mathbf{a}, \mathbf{b}) \Leftrightarrow D_j(\mathbf{a}, \mathbf{b}) \leq C(\mathbf{a}, \mathbf{b}), \forall j \dots \dots \dots (2.8)$$

de otra manera.

$$S(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = C(\mathbf{a}, \mathbf{b}) \prod_{j \in J(\mathbf{a}, \mathbf{b})} \frac{1 - D_j(\mathbf{a}, \mathbf{b})}{1 - C(\mathbf{a}, \mathbf{b})} \dots \dots \dots (2.9)$$

donde  $J(\mathbf{a}, \mathbf{b})$  es el conjunto de criterios para los cuales  $D_j(\mathbf{a}, \mathbf{b}) > C(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ .

El grado de credibilidad de la sobreclasificación es igual al índice de concordancia cuando ningún criterio es discordante. Sin embargo, si existen discordancias el índice de concordancia disminuye su valor en relación directa con la importancia de las discordancias.

## Explotación de la relación de sobreclasificación

La fase de explotación da como resultado dos preórdenes, cada uno construido de manera diferente. El primer preorden se obtiene de manera descendente: selecciona inicialmente las alternativas con mejor valor y finaliza con la que tiene peor valor (destilación descendente). El segundo preorden se obtiene de manera ascendente, seleccionando primero las alternativas consideradas como peores, y terminando con la alternativa considerada mejor.

La construcción de los dos preórdenes requiere asignar una calificación a cada par ordenado de alternativas en la matriz de credibilidad, la cual se calcula usando el siguiente procedimiento:

Primero, sea  $\lambda_0$  igual al valor máximo de  $S(\mathbf{a}, \mathbf{b})$  de todos los pares de alternativas.

$$\lambda_0 = \max_{\mathbf{a}, \mathbf{b} \in A} \{S(\mathbf{a}, \mathbf{b})\} \dots \dots \dots (2.10)$$

Un nivel límite de sobreclasificación  $\lambda_1$ , se define como un valor cerca de  $\lambda_0$ , tal que:

$$\lambda_1 = \lambda_0 - s(\lambda_0) \dots \dots \dots (2.11)$$

donde  $s(\lambda_0)$  es llamado el umbral de discriminación.

Para un par de alternativas  $(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ ,  $\mathbf{a}$  sobreclasifica  $\mathbf{b}$  en el nivel  $\lambda_1$  si la siguiente condición se cumple.

$$\mathbf{a} S^{\lambda_1} \mathbf{b} \text{ si } S(\mathbf{a}, \mathbf{b}) > \lambda_1 \text{ y } S(\mathbf{a}, \mathbf{b}) - S(\mathbf{b}, \mathbf{a}) > s(S(\mathbf{a}, \mathbf{b})) \dots \dots \dots (2.12)$$

donde:

$$s(S(\mathbf{a}, \mathbf{b})) = s(\lambda_0)$$

En otras palabras,  $\mathbf{a} S \mathbf{b}$  si el grado de credibilidad de la sobreclasificación de  $\mathbf{a}$  sobre  $\mathbf{b}$  es más grande que  $\lambda_1$  y si la diferencia entre el grado de credibilidad de  $\mathbf{a}$  sobre  $\mathbf{b}$ , menos el grado de credibilidad de  $\mathbf{b}$  sobre  $\mathbf{a}$ , es más grande que el umbral de discriminación.

## Calificación

De la relación de sobreclasificación que se muestra en la condición (2.12), el valor de fuerza y debilidad de la alternativa en el nivel límite  $\lambda_1$  se determina como sigue:

La fuerza de la alternativa  $p_A^{\lambda_1}(\mathbf{a})$  se define por:

$$p_A^{\lambda_1}(\mathbf{a}) = |\{\mathbf{b} \in A / \mathbf{a} S^{\lambda_1} \mathbf{b}\}| \dots \dots \dots (2.13)$$

La debilidad  $f_A^{\lambda_1}(\mathbf{a})$  de la alternativa es definida por:

$$f_A^{\lambda_1}(\mathbf{a}) = |\{\mathbf{b} \in A / \mathbf{b} S^{\lambda_1} \mathbf{a}\}| \dots \dots \dots (2.14)$$

La calificación de la alternativa  $\mathbf{a}$  con relación al conjunto de alternativas  $A$ ,  $q_A^{\lambda_1}(\mathbf{a})$ , es definida por:

$$q_A^{\lambda_1}(a) = p_A^{\lambda_1}(a) - f_A^{\lambda_1}(a) \dots \dots \dots (2.15)$$

Este indicador expresa claramente la posición relativa de las alternativas dentro del conjunto A.

El algoritmo usado en la destilación consiste en disminuir el nivel límite  $\lambda$  de  $\lambda_0$  a cero. Se emplean dos procedimientos de destilación: 1) sistema descendente y 2) sistema ascendente.

### Procedimiento de destilación descendente

Para el primer límite  $\lambda_1$  escogido, el subconjunto  $\bar{D}_1$  de las mejores alternativas dentro de A se obtiene como sigue:

$$\bar{D}_1 = \{a \in A / q_A^{\lambda_1} = \bar{q}_A = \max_{x \in A} q_A^{\lambda_1}(x)\} \dots \dots \dots (2.16)$$

El cual, es el subconjunto de alternativas en A con más altas calificaciones.

El procedimiento continúa para todas las alternativas que pertenecen a  $\bar{D}_1$ , tratando de distinguirlas sobre la base de una segunda (nueva) relación de sobreclasificación definida por un nivel  $\lambda_2$  tal que:

$$\lambda_2 = \lambda_1 - s(\lambda_1) \dots \dots \dots (2.17)$$

Este proceso se repite hasta el paso  $k^n$ , cuando la primera destilación consiste solamente de una alternativa, llamada "única", tal que, si  $|\bar{D}_1| = 1$ , entonces, la alternativa única ha sido seleccionada.

Si la primera destilación contiene más de una alternativa, el proceso continua para las alternativas en  $\bar{D}_1$  disminuyendo progresivamente el valor de  $\lambda$ . A cada paso las alternativas que no tengan la máxima calificación son eliminadas, hasta el paso  $k^n$ , en el cual la destilación da como resultado una alternativa, o dos o más alternativas son declaradas indistintas. Este conjunto, llamado la primera destilación, se denota  $\bar{C}_1$ , y contiene la alternativa o las alternativas clasificadas más alto de acuerdo con el procedimiento de destilación descendente. Si  $|\bar{D}_k| > 1$ , y  $\lambda_k = 0$ , entonces, sobre la base de la información disponible no es posible decidir entre las alternativas remanentes en  $\bar{D}_k$  y cada una de éstas se considera con el mismo valor de clasificación para propósitos de la destilación descendente.

Para ir del paso  $k^n$  al paso  $(k+1)^n$ , el nivel límite  $\lambda_k$  es reemplazado por el  $\lambda_{k+1}$  usando la siguiente transformación

$$\lambda_{k+1} = \max_{\substack{s(a,b) < \lambda_k - s(\lambda_k) \\ a,b \in D_k}} s(a,b) \dots \dots \dots (2.18)$$

donde:  $s(\lambda) = \alpha * \lambda + \beta$

Los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  son asignados de antemano; los valores recomendados por Vallee y Zielniewicz (1994) son  $\alpha = -0.15$  y  $\beta = 0.30$ .

La segunda destilación utiliza un procedimiento similar, esta vez con el conjunto de alternativas  $A_1$ , conteniendo a todas las alternativas de  $A$  excepto las contenidas en  $\bar{C}_1$ , se tiene  $A_1 = A - \bar{C}_1$ .

Ahora  $\lambda_0$  es igual al grado de credibilidad máximo que queda de los valores de sobreclasificación  $S(a,b)$  para las alternativas que permanecen. Por lo tanto, se obtiene  $\bar{C}_2$  con una alternativa "única" o un grupo de alternativas, acorde con el procedimiento de destilación descendente. El procedimiento de destilación es aplicado nuevamente a  $A_2 = A - \bar{C}_2$  para obtener  $\bar{C}_3$ . El algoritmo continúa hasta que se agotan las alternativas para ser clasificadas. Este proceso se llama cadena de destilación descendente y da como resultado el primer preorden completo.

### Procedimiento de destilación ascendente

Para determinar el primer nivel  $\lambda_1$ , se define el subconjunto  $\underline{D}_1$  de las peores alternativas en  $A$ , tal que:

$$\underline{D}_1 = \{a \in A / q_A^{\lambda_1} = \underline{q}_A = \min_{x \in A} q_A^{\lambda_1}(x)\} \dots \dots \dots (2.19)$$

Es el subconjunto de alternativas de  $A$  con las más pequeñas calificaciones. Si este subconjunto contiene más de una alternativa, el procedimiento continúa para las alternativas que pertenecen a  $\underline{D}_1$ , tratando de distinguir entre ellas con base en un nivel límite más bajo  $\lambda_2$ . El proceso se repite hasta que el conjunto contiene solamente una alternativa, o cuando el nivel de  $\lambda$  llegue a cero y todas las alternativas que permanecen en el subconjunto son declaradas iguales. La alternativa o alternativas que permanecen constituyen la primera destilación de la cadena ascendente. La segunda destilación comienza con todas las alternativas exceptuando las que salieron con la primera destilación. La selección se hace nuevamente sobre la base de la calificación con menor valor. El procedimiento ascendente termina cuando todas las alternativas tienen una clasificación. Por lo tanto, un segundo preorden completo, llamado cadena de orden ascendente, es obtenido, en el cual las alternativas que tienen las calificaciones más pequeñas son sistemáticamente descartadas. La clasificación final de las alternativas, se obtiene a partir de la combinación de los dos preórdenes.

El algoritmo expresado de una manera abreviada es el siguiente:

Sea  $A$ , el conjunto de alternativas a ser clasificadas u ordenadas.

1.- Sea  $n = 0$ , Poner  $\bar{A}_0 = A$  (descendente) o  $\underline{A}_0 = A$  (ascendente)

2. Sea  $\lambda_0 = \max_{a,b \in \bar{A}_n, a \neq b} \{S(a,b)\}$  o  $\lambda_0 = \max_{a,b \in \underline{A}_n, a \neq b} \{S(a,b)\}$

3.-Poner  $k = 0$ ,  $D_0 = \bar{A}_n$  (descendente) ó  $D_0 = \underline{A}_n$  (ascendente)

4.- De entre todos los valores de credibilidad que son menores que  $\lambda_k - s(\lambda_k)$ , El que tiene el valor máximo se escoge como sigue:

$$\lambda_{k+1} = \max_{\substack{\{s(a,b) < \lambda_k - s(\lambda_k)\} \\ a,b \in D_k}} s(a,b) \dots \dots \dots (2.18)$$

si  $\forall a,b \in D_k$ ,  $S(a,b) > \lambda_k - s(\lambda_k)$ , poner  $\lambda_{k+1} = 0$ .

5.- Las calificaciones  $\lambda_{k+1}$  para todas las alternativas en  $D_k$  son calculadas.



6.- Las calificaciones máximas o mínimas  $\lambda_{k+1}$  son obtenidas:

$\bar{q}_{D_k}$  (descendente) ó  $\underline{q}_{D_k}$  (ascendente)

7.- El siguiente conjunto es entonces obtenido.

$\bar{D}_{k+1} = \{a \in D_k / q_{D_k}^{\lambda_{k+1}}(a) = \bar{q}_{D_k}\}$  (descendente)

o

$\underline{D}_{k+1} = \{a \in D_k / q_{D_k}^{\lambda_{k+1}}(a) = \underline{q}_{D_k}\}$  (ascendente)

8.- Si  $|\bar{D}_{k+1}|=1$  o  $|\underline{D}_{k+1}|=1$  o  $\lambda_{k+1} = 0$  ir al paso 9, de otra forma poner  $k = k+1$ ,

$D_K = \bar{D}_k$  (descendente) ó  $D_K = \underline{D}_k$  (ascendente) e ir al paso 2.

9.-  $\bar{C}_{n+1} = \bar{D}_{k+1}$  es el grupo de alternativas realizados a través del  $(n+1)^{\text{esimo}}$  paso de la destilación descendente, denominado como el  $(n+1)^{\text{esimo}}$  destilado del procedimiento descendente.

$\underline{C}_{n+1} = \underline{D}_{k+1}$  es el grupo de alternativas realizados a través del  $(n+1)^{\text{esimo}}$  paso de la destilación ascendente, denominado como el  $(n+1)^{\text{esimo}}$  destilado del procedimiento ascendente.

Poner  $\bar{A}_{n+1} = \bar{A}_n \setminus \bar{C}_{n+1}$  (descendente) o  $\underline{A}_{n+1} = \underline{A}_n \setminus \underline{C}_{n+1}$  (ascendente).

Si  $\bar{A}_{n+1} = \emptyset$  o  $\underline{A}_{n+1} = \emptyset$ , poner  $n = n+1$  e ir al paso 2 de otra manera termine la destilación.

En la etapa de evaluación de las alternativas (Figura 4), se construye la matriz de desempeño, formada por los valores asignados a cada alternativa en cada uno de sus criterios de evaluación. El proceso de evaluación requiere de la asignación de pesos a cada criterio de evaluación, considerados como valores de importancia de los criterios. El siguiente paso es el cálculo del índice de concordancia (matriz de concordancia C) con las fórmulas 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 y de discordancia (matriz de discordancia D) usando las fórmulas 2.6, 2.7 para lo cual es necesario determinar los umbrales de preferencia p, indiferencia q y veto v. Se procede a determinar el grado de credibilidad de la relación **a** sobreclasifica **b** y se construye la matriz de credibilidad (fórmulas 2.8, 2.9).

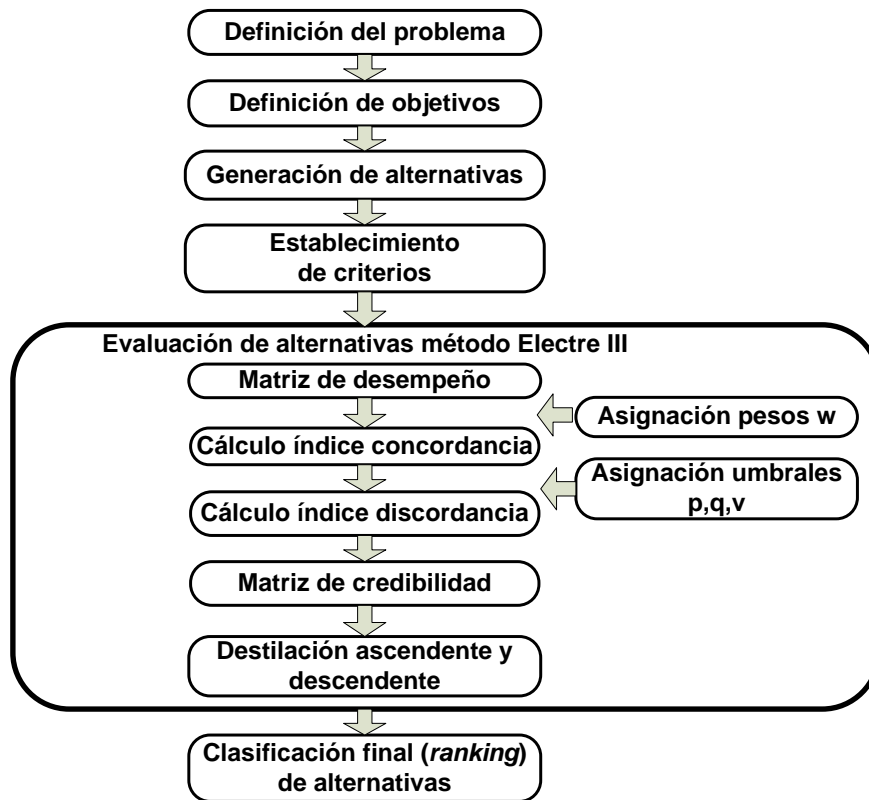


Figura 4: Proceso evaluación de alternativas  
Fuente: Elaboración propia con base a Georgopoulou et. al. (1997)

El siguiente paso es el cálculo de la destilación ascendente y descendente mediante el uso de las fórmulas 2.10 a 2.19. La clasificación final es obtenida mediante la combinación de estas dos destilaciones.

El proceso para obtener los pesos y los umbrales de preferencia, indiferencia y veto se describen en las siguientes dos secciones.

## 2.3 Método para la asignación de pesos a los criterios

La asignación de pesos a los criterios es un paso importante. Electre III es un método no compensatorio y la interpretación de los pesos es diferente a la de métodos compensatorios tal como el MAUT (*Multi Atribut Utility Theory*), donde un intercambio o valor de compensación ajusta los valores de los criterios entre alternativas para hacerlas equivalentes. Esta compensación aumenta el valor de una alternativa en función de un criterio, al mismo tiempo que disminuye su valor en una cantidad equivalente como función de otro criterio (Keeney & Raiffa, 1976). En el fondo se está haciendo una especie de trueque que obliga al decisor a pensar en el valor de un criterio con respecto a otro.

En Electre III los pesos no pertenecen a una escala constante, son medidas de la importancia relativa de los criterios involucrados en el problema.

Existen varios métodos para determinar los pesos de los criterios en el método Electre III, entre ellos: 1. el sistema de pesos directo desarrollado por Hokkanen y Salminen; 2. el sistema Mousseau; 3. la técnica del paquete de cartas, desarrollado por Simos, y 4. la matriz de resistencia al cambio desarrollado por Rogers y Bruen (1998). Estos métodos varían en complejidad. Los dos primeros son simples y directos, sin embargo, carecen de una base metodológica firme. El tercero es muy avanzado metodológicamente, lo cual lo convierte en un método complejo para el decisor. El cuarto método cumple con el requisito de ser fácil de entender y usar; se fundamenta en la psicología de las preferencias humanas. Los pesos que se obtienen pueden ser directamente relacionados con los conceptos de importancia del decisor. Este método permite que la asignación de pesos a los criterios se haga en grupo y se busca el consentimiento y la legitimidad de los valores que se asignan. Este es el método utilizado para asignar los pesos a los criterios en el presente trabajo.

El método Matriz de Resistencia al Cambio de Rogers et. al. (1998) se basa en el uso de una teoría psicológica llamada Teoría de Constructos Personales (PCT), la cual trata de explicar cómo los decisores colocan sus decisiones en una jerarquía de importancia relativa.

La Teoría de Constructos Personales fue desarrollada por Kelly G.A. (Rogers et. al. 1998). Esta sustenta que todas las personas son científicos tratando de entender el mundo, para lo cual crean estructuras mentales que los ayudan a lograr el entendimiento. Cada individuo construye un marco de constructos personales que utilizan para anticipar o predecir situaciones futuras. A ese marco se le denomina sistema de constructos. El modelo propone que las personas crean constructos que involucran similitudes y diferencias, si no lo hicieran así, entonces no tendrían señales que guiaran su comportamiento. La PCT permite que los constructos sean manejados con características de naturaleza bipolar, es decir, están implícitas similitudes y diferencias en cualquier situación que ocurra en el medio ambiente.

La PCT sustenta que cada persona crea un sistema en el cual, los constructos tienen una relación ordinal y por consiguiente los sistemas de constructos son de naturaleza jerárquica. La jerarquía es vista como una pirámide en donde los constructos más cercanos a la punta son llamados superordinados, mientras que los más cercanos a la base los llama subordinados.

Para resumir lo anterior, se puede decir que si la gente quiere prever sucesos futuros, y usan PCT, entonces por medio de las constructos se mueven en direcciones de búsqueda para un mayor entendimiento del medio ambiente. Como resultado, estas direcciones constituyen el sistema de constructos de las personas; confirman aspectos de su experiencia por medio de similitudes y diferencias.

Por tanto, para maximizar el efecto predictivo del sistema de la gente, los constructos deben estar ordinalmente relacionados y ser bipolares. Finalmente, esta teoría establece también que los constructos superordinados son más resistentes a cambiar que los subordinados.

En el Método Matriz de Resistencia al Cambio se considera que los constructos personales representan los criterios que afectan las alternativas de un problema. (Rogers et. al. 1998 ). Sustenta que el uso de una matriz permite manejar, comparar y estimar la importancia relativa de los criterios cuestionados por el decisor. El resultado es un conjunto de pesos directamente relacionados con la importancia relativa del criterio que se examina.

El procedimiento es como sigue:

1. Cada uno de los criterios relevantes se coloca en una lista.
2. Cada criterio se divide en dos partes, una deseable y una no deseable. Por ejemplo, si uno de los criterios a considerar en un proyecto es el costo de transferencia, este se puede convertir en un constructo bipolar, escribiéndolo en dos enunciados, uno deseable y uno no deseable, como sigue: bajo costo de transferencia / alto costo de transferencia.
3. El polo preferido es el que minimiza el impacto en el problema.
4. Los constructos bipolares se comparan uno con otro. Dados dos constructos bipolares, al decisor se le pregunta: ¿Si tuviera que cambiar uno de estos polos de su lado deseado a su lado no deseado, cuál prefiere que sea el último en cambiar? Con ello se identifica el constructo que se resiste más al cambio. Existen dos situaciones más que deben considerarse cuando se hacen las comparaciones; a) cuando las dos elecciones parecen al decisor igualmente indeseables, b) cuando no es lógico cambiar un constructo y que al mismo tiempo el otro permanezca sin cambio.
5. Una vez que todos los pares han sido examinados se identifica para cada constructo el número de veces que se resistió al cambio y esta será su puntuación de resistencia, al normalizar la puntuación, se obtienen los pesos para cada criterio.

## **Escala de evaluación**

Siempre es preferible evaluar los criterios de decisión de una manera cuantitativa, pero en una gran proporción de criterios esto no es posible y la evaluación cualitativa es necesaria. En un nivel básico de evaluación, para un criterio dado, un grupo de alternativas pueden ser comparadas en una escala nominal por medio de evaluar su nivel de similitud – disimilitud entre ellas (Rogers et. al. 2000 ). Este es el nivel más simple de análisis que precede al uso de escalas; de intervalos, ratios y cardinales. Este nivel básico de evaluación es una herramienta muy útil para construir lo que puede ser llamado; categorías, familias u agrupaciones de opciones en un criterio dado. Provee un panorama sencillo de las posiciones relativas de las alternativas evaluadas por el criterio en consideración, por ejemplo, la

minimización de los efectos en el paisaje o la maximización de aceptabilidad política. La evaluación nominal es una herramienta preliminar de análisis muy útil para una evaluación comparativa. Continuando con un siguiente nivel de análisis, un decisor, puede describir el nivel de similitud entre dos alternativas en un criterio dado en una escala ordinal. La escala propuesta por Maystre (Maystre & Bollinger, 1999) consiste de 5 grados, comprende los grados extremos, el grado medio, y aquellos grados que están entre el medio y los dos extremos. Estos grados pueden ser expresados como sigue:

- Muy parecido
- Suficientemente parecido
- Moderadamente parecido
- Un poco parecido
- No parecido

Dentro de un contexto de planeación de proyectos de infraestructura, Rogers (2000) utiliza esta escala para criterios cualitativos de evaluación pero la adecua como sigue:

- Neutral o indistinguible
- Menor (adverso o benéfico)
- Moderado (adverso o benéfico)
- Mayor (adverso o benéfico)
- Severo (adverso solamente)

En este trabajo, y considerando los conceptos anteriores, se usara una escala de evaluación de 5 puntos para los criterios cualitativos que son presentados más adelante en la sección 2.4. Los grados de la escala son los siguientes:

- (1) Más preferido
- (2) Suficientemente preferido
- (3) Moderadamente preferido
- (4) Poco preferido
- (5) Menos preferido

De acuerdo con esta escala, la situación más preferida tendrá una calificación de 1 y la menos preferida tendrá una calificación de 5.

## 2.4 Método para la determinación de los umbrales de preferencia (p), indiferencia (q) y veto (v)

El pseudocriterio que utiliza Electre III requiere la especificación de umbrales de preferencia, indiferencia y veto. Estos pueden ser usados en todos o en algunos de los criterios de evaluación. El pseudocriterio difiere del criterio de verdad que se usa dentro de una estructura tradicional de preferencias, donde no se requieren umbrales y el decisor manifiesta preferencia estricta de una opción sobre otra una vez que percibe la diferencia entre los valores de dos alternativas. La definición de umbrales implica un alto grado de subjetividad. Roy (1986 , 1990) establece que el sentido común es el factor predominante en la elección de valores específicos para estos umbrales.

El umbral de indiferencia q indica cuándo el decisor es indiferente entre dos alternativas. El umbral de preferencia p es el valor límite, arriba del cual el decisor muestra una preferencia estricta de una alternativa sobre otra. Estos umbrales pueden ser valores constantes o funciones lineales de la forma:

$$1.- p_j(g_j(a)) = \alpha_p + \beta_p g_j(a) \quad \text{y} \quad 2.- q_j(g_j(a)) = \alpha_q + \beta_q g_j(a)$$

Donde  $g_j(a)$  es el valor de la alternativa  $a$  en el criterio  $j$ ,  $p_j(g_j(a))$ ,  $q_j(g_j(a))$  son los valores de preferencia e indiferencia, respectivamente, y  $\alpha$ ,  $\beta$  son constantes por determinar (Hokkanen et. al. 1997).

Maystre (Rogers & Bruen, 1998) interpreta el umbral de indiferencia como el margen mínimo de incertidumbre asociado con un criterio dado; y el umbral de preferencia como el margen máximo de error asociado con el mismo criterio. Existe consistencia entre estas dos interpretaciones de los umbrales de indiferencia y preferencia. En uno y otro caso los umbrales se relacionan con un factor que puede ser de error o incertidumbre, el cual afecta adversamente la precisión de la evaluación del criterio.

Para los umbrales p y q se tiene:

Si  $g_j(a) \geq g_j(b)$ , entonces:

$$\begin{aligned} g_j(a) > g_j(b) + p_j(g_j(b)) &\Leftrightarrow a_j P b_j \\ g_j(b) + q_j(g_j(b)) < g_j(a) \leq g_j(b) + p_j(g_j(b)) &\Leftrightarrow a_j Q b_j \\ g_j(a) \leq g_j(b) + q_j(g_j(b)) \wedge g_j(b) \leq g_j(a) + q_j(g_j(a)) &\Leftrightarrow a_j I b_j \end{aligned}$$

Donde P se refiere a una preferencia estricta, Q a una preferencia débil, I a indiferencia y  $g_j(a)$  es el valor del criterio de la alternativa  $a$  en el criterio  $j$

El establecimiento de los umbrales p y q debe satisfacer las siguientes restricciones:

$$\begin{aligned} g_j(a) &> g_j(b) \\ g_j(a) + q_j(g_j(a)) &> g_j(b) + q_j(g_j(b)) \\ g_j(a) + p_j(g_j(a)) &> g_j(b) + p_j(g_j(b)) \end{aligned}$$

Para todos los criterios,  $p_j > q_j$

El umbral de veto  $v_j$  es el valor bajo el cual un criterio discordante (sin considerar otro criterio discordante) provoca una acción de veto en una relación de sobreclasificación para un conjunto de alternativas. Este umbral transmite la idea de que cualquier sobreclasificación de **a** sobre **b** se puede vetar si el valor de **a** es mucho peor que el de **b** en cualquier criterio. Si la diferencia entre **a** y **b** es menor que  $p$  para todos los criterios, entonces la discordancia es 0. El valor es mayor que 0 a medida que la diferencia en valor entre las alternativas excede a  $p$ . Cuando crecen las diferencias en valor de las alternativas que se comparan, se llega a un punto en el que se puede vetar cualquier relación de sobreclasificación de **a** sobre **b**. Como mínimo el valor del umbral de veto de un criterio  $v_j$  es igual al valor de  $p_j$ .

Para un criterio  $j$ , la relación usual de valores de los tres umbrales es  $q_j < p_j < v_j$ . Para un criterio dado el índice de discordancia empieza a tomar valores mayores que 0 a partir del umbral de preferencia y alcanza su máximo valor al llegar al umbral de veto. Mientras más grande es  $v_j$  respecto a  $p_j$ , menos afecta la sobreclasificación de las alternativas. Por lo tanto, a  $v_j$  se le asigna un valor elevado relativo a  $p_j$  para los criterios menos importantes. Para los criterios más importantes se le da un valor cercano a  $p_j$ . De acuerdo con Rogers et. al (1998 ; 2000),  $v_j$  es usualmente un valor aproximado de 3 veces el valor de  $p_j$ . Los valores de  $p_j$  y  $q_j$  para este trabajo son determinados por los decisores. El proceso se describe a continuación.

Considérese el siguiente ejemplo atribuido a Luce (Vincke, 1990). Sea  $T_i$  una taza de té con  $i$  miligramos de azúcar y sea  $T_{i+1}$  una taza con  $i+1$  miligramos de azúcar (Figura 5). Alguien que tome las tazas de té no percibirá la diferencia de un miligramo de azúcar, y por tanto las tazas le son indiferentes:  $T_i \sim T_{i+1}, \forall i$ . Si se incrementa el azúcar en la segunda taza llegará un valor donde no estará seguro si prefiere una u otra. Finalmente, llegará un valor ( $p$ ) en el cual definitivamente preferirá una a otra, se tendrá  $T_n \succ T_0$  o probablemente  $T_0 \succ T_n$  si  $n$  es demasiado grande.



Figura 5: Ejemplo de modelación de preferencias por D. Luce  
Fuente: Elaboración propia con base en Vincke (1990)

El ejemplo anterior se representa en el arreglo de la Tabla 1 (Roy & Hugonnard, 1982) en el que se puede distinguir lo siguiente:

- Una zona de indiferencia cuyo tamaño depende del valor del umbral  $q$ .
- Dos zonas de preferencia estricta, cuyos valores absolutos son más grandes que el umbral de preferencia  $p$ .

- Dos zonas intermedias que representan indecisión entre indiferencia y preferencia estricta. Esta situación se describe como una preferencia débil.

"a" estrictamente preferido a "b"	"a" débilmente preferido a "b"	"a" indiferente a "b"	"b" débilmente preferido a "a"	"b" estrictamente preferido a "a"
a P b	a Q b	a I b b I a	b Q a	b P a
	$g_j(a) - p_j$	$g_j(a) - q_j$	$g_j(a) + q_j$	$g_j(a) + p_j$
		$g_j(a)$		$g_j(b)$

Tabla 1: Zonas de preferencia, preferencia débil e indiferencia  
Fuente: (Roy et. al. 1982)

La Tabla 1 se utiliza para ayudar a los decisores a establecer los valores de p, q, v, por medio del siguiente procedimiento:

- 1.- Para cada criterio, las alternativas se acomodan de manera ordinal de acuerdo con su valor en el criterio. El valor menor y el valor mayor son extremos de la escala.
- 2.- Se pide a los decisores que establezcan el punto de indiferencia dentro de la escala.
- 3.- Se pide a los decisores que establezcan el punto de preferencia.
- 4.- Se determina el valor del umbral de veto v.
- 5.- Se obtiene p y q a partir de 1 y 2.

Este capítulo nos ha permitido conocer la teoría y el proceso de ejecución del método Electre III, así también, los métodos que van a ser empleados para determinar el valor de los pesos para los criterios y los umbrales de preferencia, indiferencia y veto son explicados. A continuación, en el capítulo 3, se especifica el objetivo que se persigue en la transferencia de los productos, se establecen las alternativas, así como los criterios de evaluación, los valores de peso y los umbrales. Todas estas actividades, son previas para iniciar con la aplicación del método Electre III para evaluar las alternativas.



## Capítulo 3 Aplicación del método Electre III

Un problema de decisión se puede concebir en dos componentes, un conjunto de alternativas cuya definición se hace de manera objetiva y un conjunto de criterios que pueden ser definidos objetiva o subjetivamente. La relación entre alternativas y criterios se describe mediante el valor de desempeño que tiene cada alternativa en cada uno de los criterios de evaluación. Estos valores de desempeño, son las características medibles de las alternativas.

En este capítulo se establece el objetivo que los gerentes buscan con el proyecto de transferencia, se definen las alternativas y los criterios para evaluarlas. Para el problema considerado en el presente trabajo, el proceso para definir las alternativas consiste en dividir en grupos el conjunto de productos que deben ser transferidos. Cada grupo es una alternativa a la que se asigna una prioridad de transferencia.

Se hace notar que el uso de uno o más criterios de carácter subjetivo para evaluar las alternativas, es necesario. Esto es por la misma naturaleza del proyecto y porque los gerentes de la compañía AVE ya han empleado criterios subjetivos en proyectos similares.

En el método Electre III existen dos etapas importantes. Estas son; la construcción de la relación de sobreclasificación y la explotación de esta. (Sección 2.2). En la primera etapa es necesario determinar los índices de concordancia y discordancia para cada par de alternativas. Estos índices pueden considerarse medidas de satisfacción (o insatisfacción) de un decisor con respecto a la selección de alternativas. Para calcular estos índices es necesario determinar umbrales de preferencia, indiferencia y veto. En este capítulo se definen estos umbrales. Los valores de preferencia, indiferencia y veto son asignados por los decisores de manera subjetiva a partir de experiencias y expectativas. Estos valores se utilizan en el cálculo de los índices de concordancia y discordancia y como resultado se integra la matriz de credibilidad. A partir de este punto, inicia la etapa de explotación de las relaciones de sobreclasificación, en esta, se construyen dos preórdenes, llamados destilación ascendente y descendente.

### 3.1 Objetivo de la transferencia de productos

Un análisis formal de cualquier problema de decisiones requiere la definición de objetivos y la identificación de criterios para la evaluación de las alternativas. Éstos tienen que ser definidos o identificados de una manera creativa, de acuerdo con las características del problema; no existe un procedimiento formal que indique cómo determinar objetivos y criterios significativos (Bouyssou, 1990). La selección de los criterios es crucial, pues éstos influyen en gran medida en la elección, clasificación u orden de las alternativas.

Uno de los métodos para definir objetivos es el "estudio analítico" (Keeney & Raiffa, 1976). Este estudio sugiere la construcción de un modelo sistémico del problema de decisión donde se identifiquen las variables de entrada y salida para facilitar el establecimiento de los objetivos.

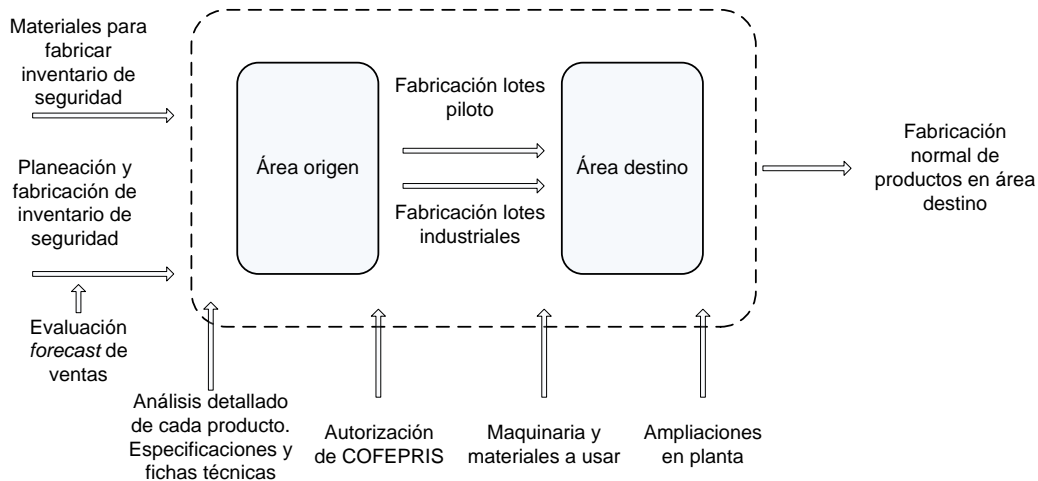


Figura 6: Modelo sistémico  
Fuente: Elaboración propia con base en Keeney et. al.(1976)

La Figura 6 representa de manera general el sistema bajo estudio, constituido por las áreas de origen y destino. Las variables de entrada más importantes son los materiales para la fabricación del Inventario de Seguridad de Producto Terminado (SS) y las actividades de planeación y fabricación del SS (la eficiencia con la que el SS cumple su objetivo está en función de la precisión del pronóstico de ventas). Como variable de entrada se considera también la especificación de la maquinaria y materiales, ficha técnica y especificaciones de cada producto así como a las ampliaciones y remodelaciones efectuadas en el área destino. La variable de salida del sistema es la fabricación de los productos en el área destino. Las actividades que determinan la salida del sistema son la fabricación de lotes piloto y de lotes industriales.

Una vez planteada la variable de salida de manera formal, se define el objetivo general: *"Lograr la fabricación normal de los productos del área origen en el área destino, manteniendo el mismo nivel de servicio a ventas y minimizar los costos de transferencia."*

### 3.2 Alternativas

Se tiene considerado hacer la transferencia de 20 productos. Para ello es conveniente agrupar los productos con características comunes, lo cual permite un mejor manejo administrativo y operativo.

El Departamento de Tecnología Industrial propone hacer la agrupación con base en 2 consideraciones:

- **Forma farmacéutica.** Hacer la agrupación de acuerdo con la forma farmacéutica a la que pertenece cada producto: comprimidos, cápsulas, grageas, soluciones, óvulos, suspensiones y supositorios. Ello permite la agrupación de operaciones, procesos comunes, materias primas y materiales.
- **Consideraciones especiales debido a optimizaciones y reformulaciones.** Dentro de las consideraciones especiales se tienen las siguientes:
  - Modificación en sistema contenedor-cierre<sup>4</sup>. Para algunos productos se necesitan cambios en el empaque primario debido a modificaciones por el fabricante del material o cambios en los componentes del sistema contenedor-cierre. Esto implica la fabricación de lotes piloto<sup>5</sup> y estudios de estabilidad<sup>6</sup>.
  - Modificación en equipo. Para algunos productos la transferencia implica el uso de equipo nuevo para su fabricación. El equipo nuevo no es equivalente al actual, debido a esto se requiere fabricación de lotes piloto y estudios de estabilidad.
  - Modificación en proceso. En algunos productos se harán cambios en los parámetros del proceso para optimizarlos. La fabricación de lotes piloto y estudios de estabilidad es necesaria.
  - Modificación en aditivos<sup>7</sup>. Algunos productos necesitan ser optimizados en cuanto a los aditivos que emplean. La fabricación de lotes piloto y estudios de estabilidad es necesaria.

Sobre la base de estas consideraciones se presenta la clasificación y agrupación de los productos en 9 grupos: Aa, Bb, Cc, Dd, Ee, Fg, Gg, Hh e Ii (Tabla 2).

1. Al grupo Aa pertenecen los productos comprimidos, y están considerados para modificar su sistema contenedor-cierre.
2. Al grupo Bb pertenecen los comprimidos psicotrópicos, y está considerado para modificar su sistema contenedor-cierre.
3. El grupo Cc contiene las grageas, y está considerado para la modificación de su proceso.
4. El grupo Dd contiene las soluciones. Se considera la adquisición de un equipo nuevo para su manufactura.
5. El grupo Ee contiene las suspensiones, y está contemplado para la modificación de su sistema contenedor-cierre.
6. El grupo Ff contiene las cápsulas, y está considerado para la modificación de su proceso.

---

<sup>4</sup> Cualquier material utilizado para el envasado y que está en contacto directo con el producto

<sup>5</sup> Lote elaborado por un procedimiento representativo que simule al de producción ó 100,000 tabletas o cápsulas. En el caso de otras formas farmacéuticas, se debe presentar justificación técnica del tamaño de lote piloto

<sup>6</sup> Pruebas que se efectúan a un fármaco o a un medicamento por un tiempo determinado, bajo la influencia de temperatura, humedad o luz en el envase que lo contiene. Las consideraciones y requisitos a cumplir sobre modificaciones a productos farmacéuticos se encuentran establecidos en la NOM-257-SSA1-2013. Autorización de medicamentos: registros, prorrogas y modificaciones.

<sup>7</sup> Es toda sustancia que se incluya en la formulación de los medicamentos y que actúe como vehículo, conservador o modificador de alguna de sus características para favorecer su eficacia, seguridad, estabilidad, apariencia o aceptabilidad.

7. El grupo Gg contiene a los óvulos, y está considerado para la modificación de su proceso. Para los productos que pertenecen a este grupo, se cuenta con información y análisis previos sobre las modificaciones planeadas. Esto facilita las actividades con los lotes piloto y los estudios de estabilidad correspondientes.
8. El grupo Hh contiene las soluciones, y está contemplado para la modificación de su sistema contenedor-cierre.
9. El grupo li contiene a los supositorios, y está contemplado para la modificación de su sistema contenedor-cierre.

Estos nueve grupos, constituyen las alternativas que deben ser evaluadas para determinar la prioridad con la que habrán de transferirse al área destino.

Alternativa	Producto	Forma farmacéutica	Modificación sistema contenedor cierre	Modificación en equipo	Modificación en proceso	Modificación en aditivos
Aa	FLAG 250	Comprimido	✓	.	.	.
	FLAG 500	Comprimido	✓	.	.	.
	BIFEBRA	Comprimido	✓	.	.	.
	SECNI 500	Comprimido	✓	.	.	.
	EBA 10	Comprimido	✓	.	.	.
Bb	NEO-P	Comprimido P	✓	.	.	.
Cc	KEDU	Gragea	.	.	✓	.
Dd	SECNI SOL.	Solución	.	✓	.	.
	BIFEBRA SOL.	Solución	.	✓	.	.
	KEDU SOL.	Solución	.	✓	.	✓
	ADEK C GOTAS	Solución	.	✓	.	.
Ee	FLAG SUSP 125	Suspensión	✓	.	.	.
	FLAG SUSP 250	Suspensión	✓	.	.	.
	EBA 60	Suspensión	✓	.	.	.
Ff	A-CON CAPS	Cápsulas	.	.	✓	.
	MA-NIBE CAPS	Cápsulas	.	.	✓	.
Gg	FLAG V OVULO	Óvulos	.	.	✓	.
	FLAGYS V OVULO	Óvulos	.	.	✓	✓
Hh	ADEK SOL ING.	Solución	✓	.	.	.
li	PROF SUPOS	Supositorios	✓	.	.	.

Tabla 2: Definición de alternativas  
Fuente: Elaboración propia con base a la información de la empresa AVE

### 3.3 Criterios para evaluación de alternativas

El objetivo de la transferencia es una declaración de lo que se desea alcanzar. Los criterios constituyen los puntos de vista que cada alternativa debe satisfacer para la consecución del objetivo. Son la base para la toma de decisiones, que puede ser medida o evaluada, y expresará las preferencias de los gerentes.

La Figura 7 muestra el diagrama jerárquico utilizado para deducir los criterios de evaluación (Keeney et. al. 1976). Estos criterios involucran a las áreas de la organización que intervienen en la transferencia.

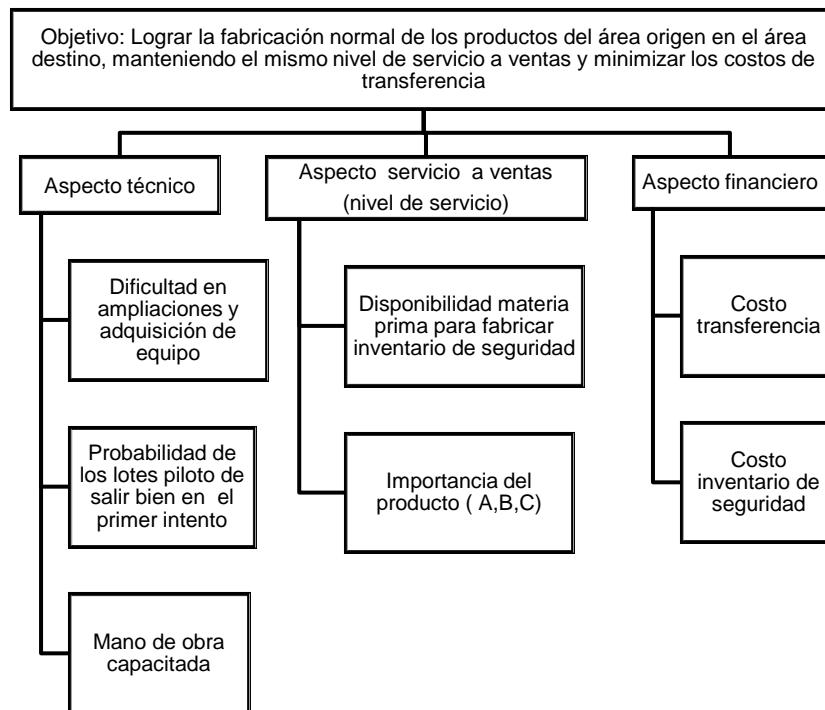


Figura 7: Diagrama jerárquico como herramienta para la deducción de criterios  
Fuente: Elaboración propia con base en Keeney et. al. (1976)

A continuación se explican cada uno de los criterios para evaluación de las alternativas.

#### **Dificultad en ampliaciones y adquisición de equipo (CR1)**

Muchos de los grupos de productos serán transferidos a las nuevas ampliaciones hechas a las instalaciones de la planta para que puedan ser fabricados, así como la compra de equipo (maquinaria) es necesario. El criterio CR1 considera la dificultad de las dos actividades anteriores en función del tiempo que les tomaría estar terminadas. El grupo de productos cuya ampliación a las instalaciones, o cuya compra de equipo toma más tiempo, se considera como el más difícil de ser transferido. Un requisito de

la transferencia de productos es hacerla con la mayor rapidez, por lo que los grupos de productos que presenten menor dificultad para ser transferidos serían los primeros de acuerdo con este criterio.

Los atributos para este criterio son:

- ¿Se requiere ampliar o comprar equipo nuevo? Consiste en la identificación de los productos que requieren ampliaciones en instalaciones o compra de nuevo equipo para su procesamiento en el área destino.
- Tiempo de entrega de ampliación o de equipo nuevo. Es el tiempo en que se estima entrará en funciones la ampliación o el nuevo equipo.

Este criterio es evaluado sobre una escala de valor de 1 a 5 (Tabla 3), donde 1 indica la situación más preferida. El valor 1 es asignado cuando no es necesario ampliar, ni comprar equipo nuevo. Esto quiere decir que los productos son transferidos dentro de la misma instalación y no cambian de equipo. Se da el valor 5 cuando es necesario ampliar, comprar o las dos y el tiempo en que entran en funcionamiento es mayor que seis meses, siendo esto la situación no preferida.

Situación	Valor
No ampliación y no compra	1
Requiere ampliación o compra de equipo. Tiempo de 0 a 2 meses	2
Requiere ampliación o compra de equipo. Tiempo de 2 a 4 meses	3
Requiere ampliación o compra de equipo. Tiempo de 4 a 6 meses	4
Requiere ampliación o compra de equipo. Tiempo mayor a 6 meses	5

Tabla 3: Escala de valores para calificar el criterio CR1  
Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4 muestra la calificación asignada a cada producto con base a su situación particular. La calificación final para la alternativa (grupo de productos) es el promedio de las calificaciones de los productos que pertenecen a la alternativa.

		Dificultad en ampliaciones y adquisición de equipo (CR1)						
Alternativa	Producto	No ampliación y no compra	Requiere ampliación o compra de equipo. Tiempo de 0 a 2 meses	Requiere ampliación o compra de equipo. Tiempo de 2 a 4 meses	Requiere ampliación o compra de equipo. Tiempo de 4 a 6 meses	Requiere ampliación o compra de equipo. Tiempo mayor a 6 meses	Calificación	calificación alternativa
Aa	FLAG 250	.	.	✓	.	.	3	2.6
	FLAG 500	.	.	✓	.	.	3	
	BIFEBRA	✓	.	.	.	.	1	
	SECNI 500	.	.	✓	.	.	3	
	EBA 10	.	.	✓	.	.	3	
Bb	NEO-P	.	.	.	✓	.	4	4
Cc	KEDU	✓	.	.	.	.	1	1
Dd	SECNI SOL.	.	.	.	✓	.	4	4
	BIFEBRA SOL.	.	.	.	✓	.	4	
	KEDU SOL.	.	.	.	✓	.	4	
	ADEK C GOTAS	.	.	.	✓	.	4	
Ee	FLAG SUSP 125	✓	.	.	.	.	1	1
	FLAG SUSP 250	✓	.	.	.	.	1	
	EBA 60	✓	.	.	.	.	1	
Ff	A-CON CAPS	✓	.	.	.	.	1	1
	MA-NIBE CAPS	✓	.	.	.	.	1	
Gg	FLAG V OVULO	✓	.	.	.	.	1	1
	FLAGYS V OVULO	✓	.	.	.	.	1	
Hh	ADEK SOL ING.	✓	.	.	.	.	1	1
li	PROF SUPOS	✓	.	.	.	.	1	1

Tabla 4: Calificación para cada alternativa con base al criterio CR1  
Fuente: Elaboración propia

## Probabilidad de los lotes piloto de salir bien en el primer intento (CR2)

Para cada uno de los productos que se requiere transferir es necesario fabricar lotes piloto y someterlos a estudios de estabilidad. Esto es debido a las modificaciones de optimización y reformulación que se deben realizar en ellos (Tabla 2). Las modificaciones tienen un grado de dificultad diferente si se comparan unas con otras y esto puede afectar el éxito de los lotes piloto y los estudios de estabilidad.

Los atributos empleados para este criterio son:

- Productos que sufren cambios en el sistema contenedor-cierre.
- Productos con cambios en equipo.
- Productos con cambios en el proceso de producción.
- Productos con modificaciones en un aditivo.
- Productos con modificaciones en más de un aditivo.

Este criterio es evaluado en escala de 1 a 5 (Tabla 5), donde 1 indica probabilidad alta de éxito de los lotes piloto, y por lo tanto favorecen la rapidez en la transferencia de los productos. En este sentido, se tiene preferencia por los valores menores.

<b>Situación</b>	<b>Probabilidad de éxito</b>	<b>Valor</b>
Modificación en sistema contenedor-cierre	Muy alta	1
Modificación en equipo	Alta	2
Modificación en proceso	Media	3
Modificación en aditivo	Baja	4
Modificación en más de un aditivo	Muy baja	5

Tabla 5: Escala de valores para calificar el criterio CR2  
Fuente: Elaboración propia

La Tabla 6 muestra las calificaciones asignadas a cada producto. La calificación asignada a cada alternativa es el promedio de las calificaciones de los productos que corresponden a esa alternativa. Los productos que pertenecen a la alternativa Gg tienen modificaciones en proceso, pero la compañía cuenta con estudios previos que facilitan la actividad, así como la documentación de lotes piloto y estudios de estabilidad. Es por esto que al producto FLAG V OVULO se califica con 2. El producto FLAGYS V OVULOS tiene una modificación adicional de aditivo, por lo que se califica con 4.



Probabilidad de los lotes piloto de salir bien en el primer intento (CR2)									
Alternativa	Producto	Modificación en sistema contenedor-cierre	Modificación en equipo	Modificación en proceso	Modificación en aditivo	Modificación en más de 1 aditivo	Probabilidad de éxito	Calificación	Calificación alternativa
Aa	FLAG 250	✓	.	.	.	.	Muy alta	1	1
	FLAG 500	✓	.	.	.	.	Muy alta	1	
	BIFEBRA	✓	.	.	.	.	Muy alta	1	
	SECNI 500	✓	.	.	.	.	Muy alta	1	
	EBA 10	✓	.	.	.	.	Muy alta	1	
Bb	NEO-P	✓	.	.	.	.	Muy alta	1	1
Cc	KEDU	.	.	✓	.	.	Media	3	3
Dd	SECNI SOL.	.	✓	.	.	.	Alta	2	2.5
	BIFEBRA SOL.	.	✓	.	.	.	Alta	2	
	KEDU SOL.	.	✓	.	✓	.	Baja	4	
	ADEK C GOTAS	.	✓	.	.	.	Alta	2	
Ee	FLAG SUSP 125	✓	.	.	.	.	Muy alta	1	1
	FLAG SUSP 250	✓	.	.	.	.	Muy alta	1	
	EBA 60	✓	.	.	.	.	Muy alta	1	
Ff	A-CON CAPS	.	.	✓	.	.	Media	3	3
	MA-NIBE CAPS	.	.	✓	.	.	Media	3	
Gg	FLAG V OVULO	.	.	✓	.	.	Alta	2	3
	FLAGYS V OVULO	.	.	✓	✓	.	Baja	4	
Hh	ADEK SOL ING.	✓	.	.	.	.	Muy alta	1	1
Ii	PROF SUPOS	✓	.	.	.	.	Muy alta	1	1

Tabla 6: Calificación para cada alternativa con base al criterio CR2  
Fuente: Elaboración propia

## Disponibilidad de materiales para la fabricación del Inventario de Seguridad (SS) (CR3)

El tiempo que toma el traslado de los productos inicia cuando se procesa el último lote en el área origen, y termina con la fabricación y disposición del producto terminado en el área destino. Este proceso requiere un inventario de seguridad (SS) de producto terminado que permita realizar ventas mientras las operaciones están suspendidas. La fabricación del SS implica mayor demanda de insumos a proveedores y puede traer como consecuencia la falta de cumplimiento en tiempo y en cantidad de los pedidos de compra, ya que muchos de ellos son importados o se fabrican bajo pedido. Con respecto a este criterio se considera transferir primero los grupos de productos cuyos materiales no tienen dificultad para ser surtidos por el proveedor, y transferir al último los que representen mayor dificultad para la adquisición de materiales. Los principales atributos para este criterio son:

- ¿Existen materiales que presentan dificultad para ser surtidos por parte del proveedor? Consiste en identificar los productos que contienen materiales que posiblemente no lleguen en la fecha en que se soliciten o en la cantidad requerida. Llamaremos "materiales problema" a estos materiales y los clasificaremos en; "los que tienen 1 material problema" y "los que tienen más de 1 material problema".
- Cumplimiento de llegada. Consiste en determinar un valor para cada producto con base en la factibilidad de llegada de sus materiales a tiempo. De acuerdo con el Departamento de Compras y de Importaciones, se pueden tener retrasos hasta de 1 mes con materiales de proveedores locales,

retrasos hasta de 3 meses con materiales de proveedores extranjeros y retrasos de más de 3 meses con proveedores extranjeros problemáticos.

La Tabla 7 muestra los valores asignados a las situaciones que se pueden presentar para cada producto. En este criterio también se tiene preferencia por valores menores, los cuales son asignados a los productos que no tienen materiales problema.

Situación	Valor
No tiene materiales problema	1
1 material problema 1 mes de retraso	2
1 material problema 3 meses de retraso	3
1 material problema más de 3 meses de retraso	4
Más de 1 material problema más de 3 meses de retraso	5

Tabla 7: Escala de valores para la calificar el criterio CR3  
Fuente: Elaboración propia

La Tabla 8 muestra las calificaciones asignadas a cada producto. Nuevamente la calificación de la alternativa es el promedio de calificaciones de los productos que la integran.

		Disponibilidad de materiales para la fabricación del inventario de seguridad (CR3)			
Alternativa	Producto	¿Cuántos materiales problema tiene el producto?	Tiempo de retraso	Calificación	Calificación alternativa
Aa	FLAG 250	1	1 mes	2	1.8
	FLAG 500	1	1 mes	2	
	BIFEBRA	1	3 meses	3	
	SECNI 500	0	.	1	
	EBA 10	0	.	1	
Bb	NEO-P	1	+ 3 meses	4	4
Cc	KEDU	0	.	1	1
Dd	SECNI SOL.	0	.	1	1.5
	BIFEBRA SOL.	1	3 meses	3	
	KEDU SOL.	0	.	1	
	ADEK C GOTAS	0	.	1	
Ee	FLAG SUSP 125	1	1 mes	2	1.67
	FLAG SUSP 250	1	1 mes	2	
	EBA 60	0	.	1	
Ff	A-CON CAPS	0	.	1	1
	MA-NIBE CAPS	0	.	1	
Gg	FLAG V OVULO	2	3 meses	5	5
	FLAGYS V OVULO	2	3 meses	5	
Hh	ADEK SOL ING.	1	1 mes	2	2
Ii	PROF SUPOS	1	3 meses	3	3

Tabla 8: Calificación para cada alternativa con base al criterio CR3  
Fuente: Elaboración propia

### Importancia del producto (CR4)

En este criterio se considera la importancia de los productos con base en la utilidad que aportan. De acuerdo con esto, se busca traspasar primero los productos más importantes de la compañía. El principal atributo para este criterio es la identificación en cada grupo de los productos A, B ó C para determinar la importancia de cada grupo de manera global (de acuerdo con su estratificación ABC). Los productos A son los más importantes para la compañía, por lo que se busca que sean transferidos primero. Se utiliza la siguiente escala: productos A =1, productos B = 2 y productos C = 3. En este criterio se tiene preferencia por valores menores

La Tabla 9 muestra las calificaciones asignadas a cada producto y finalmente a cada alternativa. (El procedimiento para asignar la calificación a la alternativa es el mismo.)

		Importancia del producto ( CR4)		
Alternativa	Producto	Producto (A,B,C)	Calificación	Calificación alternativa
Aa	FLAG 250	B	2	1.2
	FLAG 500	A	1	
	BIFEBRA	A	1	
	SECNI 500	A	1	
	EBA 10	A	1	
Bb	NEO-P	B	2	2
Cc	KEDU	C	3	3
Dd	SECNI SOL.	A	1	1.75
	BIFEBRA SOL.	A	1	
	KEDU SOL.	C	3	
	ADEK C GOTAS	B	2	
Ee	FLAG SUSP 125	B	2	1.33
	FLAG SUSP 250	A	1	
	EBA 60	A	1	
Ff	A-CON CAPS	B	2	2.5
	MA-NIBE CAPS	C	3	
Gg	FLAG V OVULO	B	2	1.5
	FLAGYS V OVULO	A	1	
Hh	ADEK SOL ING.	C	3	3
Ii	PROF SUPOS	C	3	3

Tabla 9: Calificación para cada alternativa con base al criterio CR4  
Fuente: Elaboración propia

### Costo de transferencia (CR5)

En este criterio se identifican los 3 principales costos en los que se incurre con la transferencia de productos. En este criterio se busca transferir primero los productos que representen el menor costo. Como atributos, se tienen los siguientes:

- Costo de lotes piloto. Todos los productos tienen este costo, que es variable de acuerdo con el producto.
- Costo por la ampliación de instalaciones. Se estima un costo de \$3,600,000 en ampliaciones y remodelaciones de la planta. Un total de 9 productos que pertenecen a las alternativas Aa, Bb y Dd provocan estas obras (Tabla 4). Para distribuir el costo entre las diferentes alternativas, se divide \$3,600,000 entre los 9 productos.
- Costo por adquisición. Se estima un costo de \$800,000 para la adquisición de equipo. Solamente los 4 productos de la alternativa Dd provocan este costo.

En la Tabla 10 se pueden ver el costo por producto y el costo por alternativa. Se tiene preferencia por costos menores.

		Costo de transferencia (CR5)			
Alternativa	Producto	Costos fabricación lotes piloto \$	Costos ampliaciones y remodelaciones \$	Costos compra de maquinaria \$	Costo total transferencia por alternativa \$
Aa	FLAG 250	85,440	400,000	.	2,386,760
	FLAG 500	103,360	400,000	.	
	BIFEBRA	330,960	.	.	
	SECNI 500	263,000	400,000	.	
	EBA 10	4,000	400,000	.	
Bb	NEO-P	98,700	400,000	.	498,700
Cc	KEDU	564,480	.	.	564,480
Dd	SECNI SOL.	246,412	400,000	200,000	3,227,752
	BIFEBRA SOL.	224,916	400,000	200,000	
	KEDU SOL.	142,664	400,000	200,000	
	ADEK C GOTAS	213,760	400,000	200,000	
Ee	FLAG SUSP 125	123,552	.	.	470,088
	FLAG SUSP 250	176,616	.	.	
	EBA 60	169,920	.	.	
Ff	A-CON CAPS	588,480	.	.	1,098,241
	MA-NIBE CAPS	509,761	.	.	
Gg	FLAG V OVULO	101,136	.	.	150,856
	FLAGYS V OVULO	49,720	.	.	
Hh	ADEK SOL ING.	203,333	.	.	203,333
Ii	PROF SUPOS	749,700	.	.	749,700

Tabla 10: Calificación para cada alternativa con base al criterio CR5  
Fuente: Elaboración propia

### Costo inventario de seguridad (CR6)

Este criterio considera el costo de fabricación y mantenimiento de un inventario de seguridad para cada producto. De acuerdo con este criterio se busca transferir primero los productos que representen un costo mayor en inventarios. Preferencia a favor de los costos más altos para obligar a su reducción al transferir los productos en primer lugar.

Se estima un tiempo de 4 meses en la transferencia (desde que cierra el área origen hasta que se tiene producto fabricado y disponible en el área destino) para los productos que no presentan problemas de transferencia; es decir, para los que su fabricación no requiere la compra de equipo, o la ampliación de

instalaciones, cuyos materiales no presentan problemas de asequibilidad y que los resultados de los lotes piloto tienen una probabilidad de éxito alta. Para estos productos se planea hacer un inventario de seguridad de 5 meses.

Se planea fabricar un inventario de seguridad de 8 meses para productos que requieren compra de equipo, o hacer ampliaciones, cuyo tiempo de entrega o disponibilidad es mayor de 4 meses, o los que tienen probabilidad media o baja de éxito en los lotes piloto. El inventario de seguridad de la alternativa es la suma de los inventarios de seguridad de los productos que pertenecen a dicha alternativa.

La Tabla 11 toma como base la información de las tablas de los criterios “dificultad en ampliaciones y adquisición de equipo” y “probabilidad de los lotes piloto de salir bien en el primer intento”. Por ejemplo, el FLAG 250 es un producto que pertenece al grupo o alternativa Aa. Se puede notar que el tiempo de entrega de la ampliación o maquinaria necesario para su fabricación en la planta OC es menor que 4 meses, y la probabilidad de éxito de los lotes pilotos es alta, por lo tanto, se procede a fabricar un inventario de seguridad de 5 meses.

		Costo inventario de seguridad (CR6)					
Alternativa	Producto	tiempo de entrega de ampliación o equipo mayor a 4 meses	Probabilidad éxito lotes piloto	Meses inventario	Total piezas a fabricar	Costo inventario seguridad por producto \$	Total costo inventario seguridad por alternativa \$
Aa	FLAG 250	NO	ALTA	5	182,000	920,920	11,529,724
	FLAG 500	NO	ALTA	5	327,600	2,322,684	
	BIFEBRA	NO	ALTA	5	136,000	2,721,360	
	SECNI 500	NO	ALTA	5	256,000	5,429,760	
	EBA 10	NO	ALTA	5	45,000	135,000	
Bb	NEO-P	NO	ALTA	5	152,000	539,600	539,600
Cc	KEDU	NO	BAJA	8	43,900	151,455	151,455
Dd	SECNI SOL.	SI	MEDIA	8	191,500	1,932,235	4,121,428
	BIFEBRA SOL.	SI	MEDIA	8	92,000	1,405,760	
	KEDU SOL.	SI	BAJA	8	16,000	222,880	
	ADEK C GOTAS	SI	MEDIA	8	133,465	560,553	
Ee	FLAG SUSP 125	NO	ALTA	5	269,192	1,281,354	3,320,791
	FLAG SUSP 250	NO	ALTA	5	259,215	1,529,369	
	EBA 60	NO	ALTA	5	22,700	510,069	
Ff	A-CON CAPS	NO	BAJA	8	480,161	3,073,030	3,801,760
	MA-NIBE CAPS	NO	BAJA	8	111,940	728,729	
Gg	FLAG V OVULO	NO	MEDIA	8	171,674	1,153,649	5,293,554
	FLAGYS V OVULO	NO	BAJA	8	494,022	4,139,904	
Hh	ADEK SOL ING.	NO	ALTA	5	144,000	714,240	714,240
Ii	PROF SUPOS	NO	ALTA	5	15,000	244,350	244,350

Tabla 11: Calificación para cada alternativa con base al criterio CR6  
Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta a la mano de obra para la fabricación de los productos en las nuevas áreas, se considera que no es un problema, debido a que, el personal que los fabrica hoy en día, también será transferido, por lo que adquisición de nueva mano de obra calificada no es necesaria.

### 3.4 Determinación de pesos para los criterios de evaluación

A continuación se muestra una lista de los criterios analizados en la sección anterior. La asignación de peso a cada uno de los diferentes criterios de evaluación se hace mediante el método descrito en la sección 2.3

#### Lista de criterios

Los criterios que fueron definidos en la sección 3.3 son los siguientes:

(CR1) Dificultad en ampliaciones y adquisición de equipo.

(CR2) Probabilidad de los lotes piloto de salir bien en el primer intento.

(CR3) Disponibilidad de materiales para la fabricación del inventario de seguridad (SS).

- (CR4) Importancia del producto.  
 (CR5) Costo de transferencia.  
 (CR6) Costo inventario de seguridad.

## Constructos bipolares e identificación del lado preferido de cada uno de éstos

La lista de criterios se divide en dos partes, una deseable y una no deseable, originando con esto la siguiente lista de constructos bipolares.

(CR1)	Sencillez en ampliaciones y adquisición de equipo	/	Complejidad en ampliaciones y adquisición de equipo
(CR2)	Alta probabilidad de que los lotes piloto salgan bien en el primer intento	/	Baja probabilidad de que los lotes piloto salgan bien en el primer intento
(CR3)	Alta disponibilidad de materiales para la fabricación del inventario de seguridad	/	Baja disponibilidad de materiales para la fabricación del inventario de seguridad
(CR4)	Alta importancia del producto	/	Baja importancia del producto
(CR5)	Bajo costo de transferencia	/	Alto costo de transferencia
(CR6)	Alto Costo del inventario de seguridad	/	Bajo costo del inventario de seguridad

El lado izquierdo de cada uno de los 6 constructos constituye el lado deseado desde la perspectiva de los decisores. Idealmente, la alternativa (grupo de productos) que debe transferirse primero, es donde las ampliaciones o adquisiciones de maquinaria fueran las más rápidas y sencillas, o simplemente que no hubiera necesidad de hacerlas. Segundo, aquella con alta probabilidad de que los lotes piloto salgan bien en el primer intento. Tercero, la que presente alta disponibilidad de materiales para fabricar el inventario de seguridad, seguida de la que tenga la importancia más alta de producto. Luego la que presente el menor costo de transferencia y finalmente la que tenga un alto costo de inventario de seguridad.

## Comparación entre los constructos

Después de definir los constructos bipolares e identificar el lado deseado de cada uno, la matriz de resistencia al cambio se construye como sigue:

El decisor compara cada constructo con cada uno de los otros cinco. Para cada comparación e identificado el polo deseado de cada una de las dos estructuras, se pide al decisor que cambie del polo deseado, al polo no deseado en una de ellas, mientras que la otra estructura permanece igual. El decisor completa la comparación indicando cuál de los dos cambios es menos deseable para él, y coloca una X



que indica que el constructo que se encuentra en la columna se resiste al cambio. Un espacio en blanco indica que el constructo que se encuentra en el renglón se resiste al cambio.

Existen dos circunstancias en las que al decisor le resulta imposible hacer una elección. La primera es cuando los cambios son indeseables para cualquiera de los dos constructos. Esta situación se denota con una **l** en la matriz. La segunda es cuando lógicamente no es posible cambiar de un polo a otro mientras que el otro constructo permanece constante. Esta situación se denota con una **e**.

Para obtener la puntuación final de cada constructo, los espacios en blanco a lo largo del renglón y por arriba de la diagonal, son sumados a todas las X correspondientes en su columna.

Con base a la experiencia de los decisores, la matriz de resistencia al cambio queda como se muestra en la Figura 8.

Matriz de resistencia al cambio							
Criterios	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	Calificación
CR1	-	X		X		X	2
CR2		-		X			4
CR3			-	X	X		1
CR4				-			5
CR5					-	X	1
CR6						-	2

Figura 8: Matriz de resistencia al cambio  
Fuente: Elaboración propia con base en Rogers et. al. (2000)

Al comparar el criterio CR1 con los 5 restantes se observa lo siguiente: los decisores se resisten a cambiar del lado deseable al no deseable en CR2, CR4, y CR6 esto se indica con X en la casilla. Al comparar CR1 con CR3 y CR5, los decisores prefieren que CR1 no cambie de su lado deseable al no deseable. Por esta razón se deja el espacio en blanco; CR3 y CR5 ceden al cambio.

La calificación para CR1 es la suma de los espacios en blanco a lo largo de su renglón y por arriba de la diagonal de la matriz (en este caso 2) más los espacios marcados con X en su columna (en este caso ninguno), el resultado es 2. De manera similar se obtienen las calificaciones para los criterios restantes. Estas calificaciones se normalizan y se obtiene el peso de cada uno de los criterios como se muestra en la Tabla 12.

Pesos finales						
Criterio	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6
Peso (w)	0.13	0.27	0.07	0.33	0.07	0.13

Tabla 12: Valores de peso para cada criterio  
Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Determinación de los umbrales de preferencia (p), indiferencia (q) y veto (v)

La determinación de los umbrales de preferencia, indiferencia y veto, se hace mediante el método descrito en la sección 2.4

Para el criterio CR1, “Dificultad en ampliaciones y adquisición de equipo”, se tiene lo siguiente:

Se acomodan los valores de este criterio de cada una de las alternativas de menor a mayor

	Alternativas								
	Cc	Ee	Ff	Gg	Hh	Ii	Aa	Bb	Dd
Criterio CR1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.6	4.0	4.0

Los decisores establecen  $q = 2$ . En la Tabla 3.2, el valor de 2 representa un tiempo menor de 2 meses en que entren en funciones las ampliaciones o el equipo nuevo. Se establece  $p = 3$ . El valor 3 representa un tiempo de entrada en funcionamiento de 2 a 4 meses. Los decisores prefieren que el tiempo en que estén listas las ampliaciones o el equipo, sea menor a 3 meses. Se establece  $v = 5$  que representa tiempos de entrega mayores a 6 meses. Se veta la alternativa cuya ampliación o compra de equipo tome más de 6 meses. Este criterio busca seleccionar la alternativa que transfiera en primer lugar aquellos productos que represente menos dificultades.

Para el criterio CR2, “Probabilidad de los lotes pilotos de salir bien en el primer intento”, se tiene lo siguiente:

	Alternativas								
	Aa	Bb	Ee	Hh	Ii	Dd	Cc	Ff	Gg
Criterio CR2	1	1	1	1	1	2.5	3	3	3

Los decisores asignan  $q = 2$  debido a que este valor (Tabla 5) representa una probabilidad alta de éxito en los lotes piloto. Se asigna  $p = 3$ . Este valor califica a los productos que contienen una probabilidad media de éxito. Se asigna  $v = 5$ ; todos los productos que tienen más de una modificación en aditivos, y cuya probabilidad de éxito es muy baja, serán vetados independientemente de su desempeño en otros criterios. De acuerdo con este criterio se busca transferir primero los grupos de productos con mayor probabilidad de éxito en la primera fabricación de lotes piloto.

Para el criterio CR3, “Disponibilidad de materiales para la fabricación del inventario de seguridad (SS)”, se tienen los siguientes valores para cada alternativa:

	Alternativas								
	Cc	Ff	Dd	Ee	Aa	Hh	Ii	Bb	Gg
Criterio CR3	1.0	1.0	1.5	1.7	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0

En este criterio se considera transferir primero los grupos de productos cuyos materiales no tienen dificultad en ser surtidos por el proveedor y transferir al último los que presenten las mayores dificultades en adquirir sus materiales. Los decisores establecen  $q = 1$ ; el valor de 1 representa los productos que no

tienen materiales problema (Tabla 7). Esto quiere decir que la fabricación y acondicionamiento de los productos que se encuentran en esta situación pueden ser planeados con la seguridad de que los materiales llegarán en la fecha y en la cantidad requerida para su proceso. Los decisores son indiferentes entre los productos que presentan esta característica. Se establece  $p = 3$ ; se tiene preferencia por los productos que tienen solamente 1 material problema y hasta 3 meses de retraso (Tabla 7). Cualquier producto cuyos materiales tengan más de tres meses de retraso, representan un riesgo para el plan de producción del inventario de seguridad. Se establece  $v = 7$ ; cualquier alternativa con un valor de 7 será vetada debido a que tiene más de un material problema y ello obliga a retrasarse más de tres meses. Es una situación muy adversa para el plan de fabricación del inventario de seguridad.

Para el criterio CR4, "Importancia del producto", la información es la siguiente:

Alternativas									
	Aa	Ee	Gg	Dd	Bb	Ff	Cc	Hh	li
Criterio CR4	1.2	1.3	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	3.0	3.0

Se establece  $q = 1$ ; los productos A son los más importantes para la compañía. Cualquier producto dentro de esta clasificación es indiferente para los decisores, ya que es claro para todos que estos productos tienen prioridad 1 para ser transferidos. Se establece  $p = 2$ ; se tiene preferencia estricta con respecto a transferir en primer lugar los productos clasificados como A o B (Tabla 9). El valor de veto es  $v = 2$  debido a la importancia de este criterio (Rogers et. al. 1998).

Para el criterio CR5, "Costo de transferencia", la información es la siguiente:

	Alternativas								
	Gg	Hh	Ee	Bb	Cc	li	Ff	Aa	Dd
Criterio CR5	150.856	203.333	470.088	498.700	564.480	749.700	1.098.241	2.386.760	3.227.752

Los decisores establecen  $q = 500,000$ ; los grupos de productos cuyos costos de transferencia son menores que \$500,000 son indiferentes. Hacer estas erogaciones a corto plazo no representan un problema para la compañía (de acuerdo con el decisor de costos). Se establece un valor  $p = 1500000$ ; los decisores determinan que un costo de transferencia menor que \$1,500,000 es preferible a un cualquier costo mayor que esta cantidad. Las erogaciones por concepto de transferencia de producto hasta por \$1,500,000 se tienen presupuestadas y pueden ser rápidamente asignadas para iniciar los trabajos de ampliación o de compra de maquinaria. Se establece  $v = 1500000$  debido a la importancia del criterio.

Para el criterio CR6, "Costo inventario de seguridad", la información es la siguiente:

	Alternativas								
	Cc	li	Bb	Hh	Ee	Ff	Dd	Gg	Aa
Criterio CR6	151.455	244.350	539.600	714.240	3.320.791	3.801.760	4.121.428	5.293.554	11.529.724

El costo del inventario de seguridad es aproximadamente el 15% del costo total mensual en inventarios de producto terminado de la compañía. Con esta referencia los decisores (costos y planeación) establecen  $q = 3,000,000$ . Los grupos de productos cuyo costo en inventario de seguridad es menor que

\$3,000,000 son indiferentes en cuanto a la prioridad con la que deben ser transferidos; los recursos financieros están disponibles para ser asignados. Se establece  $p = 6000000$ ; los grupos de productos cuyos costos en inventario de seguridad están por arriba de \$6,000,000 son preferidos para ser transferidos primero. El departamento de planeación debe reducir el costo por inventarios y para ello es conveniente transferir primero aquellos cuyo costo es mayor. Se establece  $v = 6000000$  debido a la importancia del criterio.

La Tabla 13 concentra los valores de cada uno de los umbrales para cada uno de los criterios.

	Criterios					
	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6
p	3.00	3.00	3.00	2.00	1,500,000.00	6,000,000.00
q	2.00	2.00	1.00	1.00	500,000.00	3,000,000.00
v	5.00	5.00	7.00	2.00	1,500,000.00	6,000,000.00

Tabla 13: Valores de preferencia (p), Indiferencia (q) y veto (v)  
Fuente: Elaboración propia

### 3.6 Cálculo de los índices de concordancia y discordancia

En Secciones 3.3 y 3.4 se obtuvieron las calificaciones (desempeño) de las alternativas en cada uno de los criterios de evaluación, así como el peso de cada criterio. En la Sección 3.5 se determinó el valor de los umbrales de preferencia, indiferencia y veto. La Tabla 14, muestra la matriz de desempeño que reúne toda esta información. Se procede con el cálculo de los índices de concordancia y discordancia, iniciando así el proceso de evaluación de alternativas por medio del método Electre III.

		Criterios y sentido de preferencia					
		CR1 ↓	CR2 ↓	CR3 ↓	CR4 ↓	CR5 ↓	CR6 ↑
Alternativa	Aa	2.60	1.00	1.80	1.20	2,386,760	11,529,724
	Bb	4.00	1.00	4.00	2.00	498,700	539,600
	Cc	1.00	3.00	1.00	3.00	564,480	151,455
	Dd	4.00	2.50	1.50	1.75	3,227,752	4,121,428
	Ee	1.00	1.00	1.67	1.33	470,088	3,320,791
	Ff	1.00	3.00	1.00	2.50	1,098,241	3,801,760
	Gg	1.00	3.00	5.00	1.50	150,856	5,293,554
	Hh	1.00	1.00	2.00	3.00	203,333	714,240
	Ii	1.00	1.00	3.00	3.00	749,700	244,350
	w	0.13	0.27	0.07	0.33	0.07	0.13
	p	3.00	3.00	3.00	2.00	1,500,000	6,000,000
	q	2.00	2.00	1.00	1.00	500,000	3,000,000
	v	5.00	5.00	7.00	2.00	1,500,000	6,000,000

Tabla 14: Matriz de desempeño  
Fuente: Elaboración propia

Los criterios en los que se tiene preferencia hacia valores menores se identifican en la matriz con  $\downarrow$ . Los criterios en los que se tiene preferencia por valores mayores se identifican con  $\uparrow$ . Esto se aprecia en el encabezado de la matriz de desempeño.

El índice concordante es un conjunto de valores  $c_{a,b}$  que varían de 1.0 (cuando la alternativa **a** es igual o mejor que la alternativa **b** para todos los criterios) a 0.0 (cuando la alternativa **a** es peor que la alternativa **b** para todos los criterios). Para los criterios por los cuales se tiene preferencia por valores mayores, el cálculo de cada elemento  $c(a,b)$  está dado por:

$$C(a,b) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n w_j c_j(a,b) \dots \dots \dots (2.1)$$

donde:  $W = \sum_{j=1}^n w_j$

y  $c_j(a,b) = 1$  si  $g_j(a) + q_j(g_j(a)) \geq g_j(b) \dots \dots \dots (2.2)$

o  $c_j(a,b) = 0$  si  $g_j(a) + p_j(g_j(a)) < g_j(b) \dots \dots \dots (2.3)$

de otra manera

$$c_j(a,b) = \frac{g_j(a) - g_j(b) + p_j(g_j(a))}{p_j(g_j(a)) - q_j(g_j(a))} \dots \dots \dots (2.4)$$

Para los criterios por los cuales se tiene preferencia por valores menores, las fórmulas (2.2), (2.3) y (2.4) son utilizadas, como se muestra a continuación, para el cálculo de cada elemento  $c(a,b)$ .

$$c_j(a,b) = 1 \text{ si } g_j(a) - q_j(g_j(a)) \leq g_j(b) \dots \dots \dots (3.1)$$

o  $c_j(a,b) = 0$  si  $g_j(a) - p_j(g_j(a)) > g_j(b) \dots \dots \dots (3.2)$

de otra manera

$$c_j(a,b) = \frac{g_j(b) - g_j(a) + p_j(g_j(a))}{p_j(g_j(a)) - q_j(g_j(a))} \dots \dots \dots (3.3)$$

Los valores obtenidos se reflejan en la Tabla 15, que es la matriz de concordancia  $C(a,b)$ , la cual representa el porcentaje de peso de los criterios que concuerdan con la proposición **a** sobreclasifica **b**.

Alternativas	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	li
<b>Aa</b>	1.00	0.93	0.93	1.00	0.93	0.94	0.93	0.93	0.93
<b>Bb</b>	0.83	1.00	0.80	0.92	0.82	0.79	0.79	0.84	0.87
<b>Cc</b>	0.61	1.00	1.00	0.88	0.77	0.97	0.74	1.00	1.00
<b>Dd</b>	0.85	0.93	0.80	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
<b>Ee</b>	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Ff</b>	0.77	0.99	1.00	1.00	0.94	1.00	0.97	0.97	1.00
<b>Gg</b>	0.80	1.00	0.93	0.93	0.93	0.93	1.00	0.93	0.97
<b>Hh</b>	0.61	1.00	1.00	0.90	0.78	1.00	0.77	1.00	1.00
<b>li</b>	0.60	1.00	0.97	0.86	0.77	0.94	0.74	1.00	1.00

Tabla 15: Matriz de concordancia  
Fuente: Elaboración propia

El índice de discordancia mide el grado en el cual la alternativa **a** es peor que la alternativa **b**. Para los criterios por los cuales se tiene preferencia por valores mayores, el cálculo de cada elemento  $D_j(a,b)$  está dado por:

$$D_j(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{si } g_j(b) \leq g_j(a) + p_j(g_j(a)) \\ 1 & \text{si } g_j(b) > g_j(a) + p_j(g_j(a)) \end{cases} \dots\dots\dots (2.6)$$

de otra manera

$$D_j(a,b) = \frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j(g_j(a))}{v_j(g_j(a)) - p_j(g_j(a))} \dots\dots\dots (2.7)$$

Para los criterios por los cuales se tiene preferencia por valores menores, las expresiones (2.6) y (2.7) son utilizadas como se muestra a continuación:

$$D_j(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{si } g_j(b) \geq g_j(a) - p_j(g_j(a)) \\ 1 & \text{si } g_j(b) < g_j(a) - p_j(g_j(a)) \end{cases} \dots\dots\dots (3.4)$$

de otra manera

$$D_j(a,b) = \frac{g_j(a) - g_j(b) - p_j(g_j(a))}{v_j(g_j(a)) - p_j(g_j(a))} \dots\dots\dots (3.5)$$

Los valores de los índices discordantes para cada criterio se presentan en las Tablas 16 a 21.

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	li
<b>Aa</b>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Bb</b>	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Cc</b>	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Dd</b>	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ee</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ff</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
<b>Gg</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
<b>Hh</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
<b>li</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabla 16: Matriz de discordancia para criterio CR1  
Fuente: Elaboración propia

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	li
Aa	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bb	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cc	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dd	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ee	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ff	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
Gg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
Hh	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabla 17: Matriz de discordancia para criterio CR2  
Fuente: Elaboración propia

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	li
Aa	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bb	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cc	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dd	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ee	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ff	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
Gg	0.05	0.00	0.25	0.13	0.08	0.25	1.00	0.00	0.00
Hh	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabla 18: Matriz de discordancia para criterio CR3  
Fuente: Elaboración propia

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	li
Aa	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bb	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cc	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dd	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ee	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ff	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
Gg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
Hh	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabla 19: Matriz de discordancia para criterio CR4  
Fuente: Elaboración propia

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	li
Aa	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00
Bb	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cc	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dd	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ee	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ff	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
Gg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
Hh	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabla 20: Matriz de discordancia para criterio CR5  
Fuente: Elaboración propia

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	li
<b>Aa</b>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Bb</b>	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Cc</b>	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Dd</b>	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ee</b>	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ff</b>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
<b>Gg</b>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
<b>Hh</b>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
<b>li</b>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabla 21: Matriz de discordancia para criterio CR6  
Fuente: Elaboración propia

### 3.7 Matriz de credibilidad

Para cada par de alternativas  $\{a, b\}$  los índices de concordancia y discordancia son calculados en la Sección 3.6. El siguiente paso es combinar los dos índices para obtener la matriz de credibilidad, la cual proporciona información sobre la “fuerza” de la aseveración “ $a$  es al menos tan buena como  $b$ ”. El grado de credibilidad para cada par  $\{a, b\}$  se define como sigue:

$$S(a, b) = C(a, b) \Leftrightarrow D_j(a, b) \leq C(a, b), \forall j \dots \dots \dots (2.8)$$

de otra manera:

$$S(a, b) = C(a, b) \prod_{j \in J(a, b)} \frac{1 - D_j(a, b)}{1 - C(a, b)} \dots \dots \dots (2.9)$$

donde:  $J(a, b)$  es el conjunto de criterios para los cuales  $D_j(a, b) > C(a, b)$ .

La expresión anterior establece que si el valor de concordancia es más grande que el de discordancia, entonces el valor de concordancia se mantiene y no se modifica. De otra manera es cuestionable la validez de  $aSb$ , y  $C(a, b)$  tendría que ser modificado de acuerdo con la ecuación de arriba. Si el valor de discordancia es 1.00 para cualquier  $\{a, b\}$  en cualquier criterio, entonces no se tiene certeza de que  $aSb$  y por lo tanto  $S(a, b) = 0$ . La Tabla 22 muestra la matriz de credibilidad, resultado de los índices de concordancia y discordancia.



Alternativas	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	li
<b>Aa</b>	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00
<b>Bb</b>	0.00	1.00	0.80	0.92	0.82	0.79	0.79	0.84	0.87
<b>Cc</b>	0.00	1.00	1.00	0.88	0.77	0.97	0.74	1.00	1.00
<b>Dd</b>	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ee</b>	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Ff</b>	0.00	0.99	1.00	1.00	0.94	1.00	0.97	0.97	1.00
<b>Gg</b>	0.00	1.00	0.93	0.93	0.93	0.93	1.00	0.93	0.97
<b>Hh</b>	0.00	1.00	1.00	0.90	0.78	1.00	0.77	1.00	1.00
<b>li</b>	0.00	1.00	0.97	0.86	0.77	0.94	0.74	1.00	1.00

Tabla 22: Matriz de credibilidad  
Fuente: Elaboración propia

### 3.8 Construcción de los 2 preórdenes

Para establecer la clasificación o *ranking* final se deben construir los preórdenes correspondientes a la destilación descendente y la destilación ascendente, de acuerdo con el procedimiento de la Sección 2.2. Corresponde ello a la explotación de la relación de sobreclasificación de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\lambda_0 = \max_{a,b \in A} \{S(a,b)\} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\lambda_{k+1} = \max_{\substack{S(a,b) < \lambda_k - S(\lambda_k) \\ a,b \in D_k}} S(a,b) \dots\dots\dots (2.18)$$

Donde  $S(\lambda_k)$  es el umbral de discriminación y se calcula como  $S(\lambda_k) = \alpha * \lambda_k + \beta$  (ver Sección 2.2, procedimiento destilación descendente para los valores de  $\alpha$  y  $\beta$ ).

Para un par de alternativas  $\{a,b\}$ ,  $a$  sobreclasifica  $b$  si en el nivel límite  $\lambda_{k+1}$  la siguiente condición se cumple (es igual a la condición 2.12).

$$aS^{\lambda_1} b \text{ si } S(a,b) > \lambda_1 \text{ y } S(a,b) - S(b,a) > S(\lambda_1) \dots\dots\dots (3.6)$$

La construcción de los preórdenes requiere de la estimación de una calificación  $q_A^{\lambda_1}$  para cada alternativa.

$$p_A^{\lambda_1}(a) = |\{b \in A / aS^{\lambda_1} b\}| \dots\dots\dots (2.13)$$

$$f_A^{\lambda_1}(a) = |\{b \in A / bS^{\lambda_1} a\}| \dots\dots\dots (2.14)$$

$$q_A^{\lambda_1}(a) = p_A^{\lambda_1}(a) - f_A^{\lambda_1}(a) \dots\dots\dots (2.15)$$

A continuación se estiman los dos preórdenes correspondientes a las alternativas de este trabajo.

### 3.9 Destilación descendente

$A = \{Aa, Bb, Cc, Dd, Ee, Ff, Gg, Hh, Ii\}$  es el conjunto inicial de alternativas.

#### Primera destilación, primer paso

El conjunto de alternativas para el primer paso de la destilación es  $\bar{A}_0 = A = \{Aa, Bb, Cc, Dd, Ee, Ff, Gg, Hh, Ii\}$  y los valores calculados mediante (2.10) y (2.18) son los siguientes:

$\lambda_0$	$s(\lambda_0)$	$\lambda_0 - s(\lambda_0)$	$\lambda_1$
1.00	0.15	0.850	0.835

La Tabla 23 contiene dos matrices, la matriz izquierda son las alternativas que cumplen con la condición (3.6), la matriz derecha contienen la calificación que corresponde a cada una de las alternativas.

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	Ii	Valor de fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$
Aa	-			Aa S Dd		Aa S Ff				2.00
Bb		-		Bb S Dd						1.00
Cc		Cc S Bb	-	Cc S Dd						2.00
Dd				-						0.00
Ee		Ee S Bb	Ee S Cc	Ee S Dd	-			Ee S Hh	Ee S Ii	5.00
Ff		Ff S Bb		Ff S Dd		-				2.00
Gg		Gg S Bb	Gg S Cc	Gg S Dd			-	Gg S Hh	Gg S Ii	5.00
Hh		Hh S Bb		Hh S Dd				-		2.00
Ii				Ii S Dd					-	1.00
Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	0.00	5.00	2.00	8.00	0.00	1.00	0.00	2.00	2.00	

Alternativa	Valor de Fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$	Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	Calificación $q_A^{\lambda_1}(a)$
Aa	2.00	0.00	2.00
Bb	1.00	5.00	-4.00
Cc	2.00	2.00	0.00
Dd	0.00	8.00	-8.00
Ee	5.00	0.00	5.00
Ff	2.00	1.00	1.00
Gg	5.00	0.00	5.00
Hh	2.00	2.00	0.00
Ii	1.00	2.00	-1.00

Tabla 23: Resultados de la primera destilación primer paso del proceso de destilación descendente  
Fuente: Elaboración propia

El subconjunto que contiene las alternativas con la mayor calificación es  $\bar{D}_1 = \{Ee, Gg\}$ . Es necesario un segundo paso para identificar la alternativa con mayor calificación  $\bar{C}_1$ .

#### Primera destilación, segundo paso

$\bar{D}_1 = \{Ee, Gg\}$  es el conjunto de alternativas para realizar el segundo paso: Los valores calculados para determinar que alternativa sobreclasifica a otra son los siguientes:

$\lambda_0$	$s(\lambda_0)$	$\lambda_0 - s(\lambda_0)$	$\lambda_1$
1.00	0.15	0.850	0.000

La Tabla 24 muestra dos matrices, la matriz izquierda son las alternativas que cumplen con la condición (3.6), la matriz derecha contiene la calificación que corresponde a cada una de las alternativas. La calificación es 0 para las dos alternativas. Ninguna sobreclasifica a otra.

Alternativa	Ee	Gg	Valor de fuerza $P_A^{\lambda_1} (a)$
Ee			0.00
Gg			0.00
Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1} (a)$	0.00	0.00	

Alternativa	Valor de Fuerza $P_A^{\lambda_1} (a)$	Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1} (a)$	Calificación $q_A^{\lambda_1} (a)$
Ee	0.00	0.00	0.00
Gg	0.00	0.00	0.00

Tabla 24: Resultados de la primera destilación segundo paso del proceso de destilación descendente  
Fuente: Elaboración propia

El subconjunto  $\bar{D}_2$  que contiene las alternativas con la mayor calificación es:  $\bar{D}_2 = \{Ee, Gg\}$ . La alternativa  $\bar{C}_1$  que tiene la mayor calificación dentro del subconjunto  $\bar{D}_2$  es Ee y Gg, entonces:  $\bar{C}_1 = \bar{D}_2 = \{Ee, Gg\}$ .

## Segunda destilación, primer paso

El conjunto de alternativas para la segunda destilación es:  $\bar{A}_1 = \bar{A}_0 - \bar{C}_1 = \{Aa, Bb, Cc, Dd, Ff, Hh, li\}$ .

Los valores para iniciar la destilación son los siguientes:

$\lambda_1$	$s(\lambda_1)$	$\lambda_1 - s(\lambda_1)$	$\lambda_2$
1.00	0.15	0.850	0.835

La Tabla 25 contiene dos matrices, la matriz izquierda son las alternativas que cumplen con la condición (3.6), la matriz derecha contiene la calificación que corresponde a cada una de las alternativas.

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	li	Valor de fuerza $P_A^{\lambda_1} (a)$
Aa	-			Aa S Dd	-	Aa S Ff	-			2.00
Bb		-		Bb S Dd	-		-			1.00
Cc		Cc S Bb	-	Cc S Dd	-		-			2.00
Dd				-	-		-			0.00
Ee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Ff		Ff S Bb		Ff S Dd	-	-	-			2.00
Gg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Hh		Hh S Bb		Hh S Dd	-		-	-		2.00
li				li S Dd	-		-		-	1.00
Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1} (a)$	0.00	3.00	0.00	6.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	

Alternativa	Valor de Fuerza $P_A^{\lambda_2} (a)$	Valor de debilidad $f_A^{\lambda_2} (a)$	Calificación $q_A^{\lambda_2} (a)$
Aa	2.00	0.00	2.00
Bb	1.00	3.00	-2.00
Cc	2.00	0.00	2.00
Dd	0.00	6.00	-6.00
Ee	-	-	-
Ff	2.00	1.00	1.00
Gg	-	-	-
Hh	2.00	0.00	2.00
li	1.00	0.00	1.00

Tabla 25: Resultados de la segunda destilación primer paso del proceso de destilación descendente  
Fuente: Elaboración propia

El subconjunto  $\bar{D}_1$  que contiene las alternativas con la mayor calificación es:  $\bar{D}_1 = \{Aa, Cc, Hh\}$ . Es necesario un segundo paso para identificar la alternativa con mayor calificación  $\bar{C}_2$ .

## Segunda destilación, segundo paso

$\bar{D}_1 = \{Aa, Cc, Hh\}$ , es el conjunto de alternativas para realizar el segundo paso. Los valores calculados para determinar que alternativa sobreclasifica a otra son los siguientes:

$\lambda_0$	$s(\lambda_0)$	$\lambda_0 - s(\lambda_0)$	$\lambda_1$
1.00	0.15	0.850	0.000

La Tabla 26 muestra las alternativas que cumplen con la condición (3.6) y la calificación que corresponde a cada una de las alternativas (matriz izquierda y derecha respectivamente).

Alternativa	Aa	Cc	Hh	Valor de fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$
Aa	-			0.00
Cc		-		0.00
Hh			-	0.00
Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	0.00	0.00	0.00	

Alternativa	Valor de Fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$	Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	Calificación $q_A^{\lambda_1}(a)$
Aa	0.00	0.00	0.00
Cc	0.00	0.00	0.00
Hh	0.00	0.00	0.00

Tabla 26: Resultados de la segunda destilación segundo paso del proceso de destilación descendente  
Fuente: Elaboración propia

La calificación de las tres alternativas es 0, Por lo tanto:  $\bar{C}_2 = \bar{D}_2 = \{Aa, Cc, Hh\}$

## Tercera destilación, primer paso

$\bar{A}_2 = \bar{A}_1 - \bar{C}_2 = \{Bb, Dd, Ff, li\}$ , y los valores calculados para determinar la sobreclasificación de una alternativa sobre otra son los siguientes:

$\lambda_0$	$s(\lambda_0)$	$\lambda_0 - s(\lambda_0)$	$\lambda_1$
1.00	0.15	0.850	0.835

La Tabla 27 muestra los resultados de la tercera destilación.

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	li	Valor de fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$
Aa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Bb	-	-	-	Bb S Dd	-	-	-	-	-	1.00
Cc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Dd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Ee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Ff	-	Ff S Bb	-	Ff S Dd	-	-	-	-	-	2.00
Gg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Hh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
li	-	-	-	li S Dd	-	-	-	-	-	1.00
Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	0.00	1.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Alternativa	Valor de Fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$	Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	Calificación $q_A^{\lambda_1}(a)$
Aa	-	-	-
Bb	1.00	1.00	0.00
Cc	-	-	-
Dd	0.00	3.00	-3.00
Ee	-	-	-
Ff	2.00	0.00	2.00
Gg	-	-	-
Hh	-	-	-
li	1.00	0.00	1.00

Tabla 27: Resultados de la tercera destilación primer paso del proceso de destilación descendente  
Fuente: Elaboración propia

La alternativa con la mayor calificación es Ff, por lo tanto;  $\bar{C}_3 = \bar{D}_1 = \{ Ff \}$

### Cuarta destilación, primer paso

$\bar{A}_3 = \bar{A}_2 - \bar{C}_3 = \{ Bb, Dd, li \}$ , y los valores para determinar la sobreclasificación de una alternativa sobre otra son los siguientes:

$\lambda_1$	$s(\lambda_1)$	$\lambda_1 - s(\lambda_1)$	$\lambda_2$
1.00	0.15	0.850	0.767

La Tabla 28 muestra los resultados de la cuarta destilación, primer paso.

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	li	Valor de fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$
Aa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Bb	-	-	-	Bb S Dd	-	-	-	-	-	1.00
Cc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Dd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Ee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Ff	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Gg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Hh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
li	-	-	-	li S Dd	-	-	-	-	-	1.00
Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Alternativa	Valor de Fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$	Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	Calificación $q_A^{\lambda_1}(a)$
Aa	-	-	-
Bb	1.00	0.00	1.00
Cc	-	-	-
Dd	0.00	2.00	-2.00
Ee	-	-	-
Ff	-	-	-
Gg	-	-	-
Hh	-	-	-
li	1.00	0.00	1.00

Tabla 28: Resultados de la cuarta destilación primer paso del proceso de destilación descendente  
Fuente: Elaboración propia

$\bar{D}_1 = \{ Bb, li \}$ , Es necesario ir a un segundo paso para obtener  $\bar{C}_4$

### Cuarta destilación, segundo paso

Sea:  $\bar{D}_1 = \{ Bb, li \}$ , y los valores para determinar la sobreclasificación de una alternativa sobre otra son los siguientes:

$\lambda_0$	$s(\lambda_0)$	$\lambda_0 - s(\lambda_0)$	$\lambda_1$
1.00	0.15	0.850	0.000

La Tabla 29 muestra los resultados del segundo paso.

Alternativa	Bb	li	Valor de fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$
Bb	-	-	0.00
li	-	-	0.00
Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	0.00	0.00	

Alternativa	Valor de Fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$	Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	Calificación $q_A^{\lambda_1}(a)$
Bb	0.00	0.00	0.00
li	0.00	0.00	0.00

Tabla 29: Resultados de la cuarta destilación segundo paso del proceso de destilación descendente  
Fuente: Elaboración propia

Ninguna alternativa tiene una calificación mayor que la otra, por lo tanto:  $\bar{C}_4 = \bar{D}_2 = \{ Bb, li \}$

Finalmente, solamente queda una alternativa, entonces;  $\bar{C}_5 = \{Dd\}$

La Figura 9 muestra la destilación descendente de las alternativas. Primer preorden

### 3.10 Destilación ascendente

El procedimiento para obtener la destilación ascendente es similar al de la destilación descendente, con la excepción de que las alternativas que se van escogiendo en cada destilación son las que tienen la calificación menor.

#### Primera destilación, primer paso

$\underline{A}_0 = \{Aa, Bb, Cc, Dd, Ee, Ff, Gg, Hh, Ii\}$ , y los valores calculados para determinar la sobreclasificación de una alternativa sobre otra, son los siguientes:

$\lambda_0$	$s(\lambda_0)$	$\lambda_0 - s(\lambda_0)$	$\lambda_1$
1.00	0.15	0.850	0.835

La Tabla 30 muestra los resultados de la primera destilación.

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	Ii	Valor de fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$
Aa	-			Aa S Dd		Aa S Ff				2.00
Bb		-		Bb S Dd						1.00
Cc		Cc S Bb	-	Cc S Dd						2.00
Dd				-						0.00
Ee		Ee S Bb	Ee S Cc	Ee S Dd	-			Ee S Hh	Ee S Ii	5.00
Ff		Ff S Bb		Ff S Dd		-				2.00
Gg		Gg S Bb	Gg S Cc	Gg S Dd			-	Gg S Hh	Gg S Ii	5.00
Hh		Hh S Bb		Hh S Dd				-		2.00
Ii				Ii S Dd					-	1.00
Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	0.00	5.00	2.00	8.00	0.00	1.00	0.00	2.00	2.00	

Alternativa	Valor de Fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$	Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	Calificación $q_A^{\lambda_1}(a)$
Aa	2.00	0.00	2.00
Bb	1.00	5.00	-4.00
Cc	2.00	2.00	0.00
Dd	0.00	8.00	-8.00
Ee	5.00	0.00	5.00
Ff	2.00	1.00	1.00
Gg	5.00	0.00	5.00
Hh	2.00	2.00	0.00
Ii	1.00	2.00	-1.00

Tabla 30: Resultados de la primera destilación primer paso del proceso de destilación ascendente  
Fuente: Elaboración propia

El subconjunto  $\underline{D}_1$  que contiene las alternativas con la menor calificación es  $\{Dd\}$ . La alternativa  $\underline{C}_1$  que tiene la menor calificación dentro de este subconjunto es: Dd, entonces:  $\underline{C}_1 = \underline{D}_1 = \{Dd\}$ .

#### Segunda destilación, primer paso

$\underline{A}_1 = \underline{A}_0 - \underline{C}_1 = \{Aa, Bb, Cc, Ee, Ff, Gg, Hh, Ii\}$ , y los valores calculados para hacer la sobreclasificación son los siguientes:

$\lambda_0$	$s(\lambda_0)$	$\lambda_0 - s(\lambda_0)$	$\lambda_1$
1.00	0.15	0.850	0.835

La Tabla 31 muestra los resultados de la segunda destilación.

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	Ii	Valor de fuerza $P_A^{\lambda_1} (a)$
Aa	-			-		Aa S Ff				1.00
Bb		-		-						0.00
Cc		Cc S Bb	-	-						1.00
Dd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Ee		Ee S Bb	Ee S Cc	-	-			Ee S Hh	Ee S Ii	4.00
Ff		Ff S Bb		-		-				1.00
Gg		Gg S Bb	Gg S Cc	-			-	Gg S Hh	Gg S Ii	4.00
Hh		Hh S Bb		-				-		1.00
Ii				-					-	0.00
Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1} (a)$	0.00	5.00	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	2.00	2.00	

Alternativa	Valor de Fuerza $P_A^{\lambda_1} (a)$	Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1} (a)$	Calificación $q_A^{\lambda_1} (a)$
Aa	1.00	0.00	1.00
Bb	0.00	5.00	-5.00
Cc	1.00	2.00	-1.00
Dd	-	-	-
Ee	4.00	0.00	4.00
Ff	1.00	1.00	0.00
Gg	4.00	0.00	4.00
Hh	1.00	2.00	-1.00
Ii	0.00	2.00	-2.00

Tabla 31: Resultados de la segunda destilación primer paso del proceso de destilación ascendente  
Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto:  $\underline{C}_2 = \underline{D}_1 = \{Bb\}$ .

### Tercera destilación, primer paso

$A_2 = \underline{A}_1 - \underline{C}_2 = \{Aa, Cc, Ee, Ff, Gg, Hh, Ii\}$  y los valores calculados para hacer la sobreclasificación son los siguientes:

$\lambda_0$	$s(\lambda_0)$	$\lambda_0 - s(\lambda_0)$	$\lambda_1$
1.00	0.15	0.850	0.780

La Tabla 32 muestra los resultados de la tercera destilación.

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	Ii	Valor de fuerza $P_A^{\lambda_1} (a)$
Aa	-	-		-		Aa S Ff				1.00
Bb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Cc		-	-	-						0.00
Dd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Ee		-	Ee S Cc	-	-			Ee S Hh	Ee S Ii	3.00
Ff		-		-		-				0.00
Gg		-	Gg S Cc	-			-	Gg S Hh	Gg S Ii	3.00
Hh		-		-				-		0.00
Ii		-		-					-	0.00
Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1} (a)$	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	2.00	2.00	

Alternativa	Valor de Fuerza $P_A^{\lambda_1} (a)$	Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1} (a)$	Calificación $q_A^{\lambda_1} (a)$
Aa	1.00	0.00	1.00
Bb	-	-	-
Cc	0.00	2.00	-2.00
Dd	-	-	-
Ee	3.00	0.00	3.00
Ff	0.00	1.00	-1.00
Gg	3.00	0.00	3.00
Hh	0.00	2.00	-2.00
Ii	0.00	2.00	-2.00

Tabla 32: Resultados de la tercera destilación primer paso del proceso de destilación ascendente  
Fuente: Elaboración propia

El subconjunto  $\underline{D}_1$  que contiene las alternativas con la menor calificación es:  $\underline{D}_1 = \{Cc, Hh, Ii\}$ . Es necesario ir a un segundo paso para obtener  $\underline{C}_3$ .

### Tercera destilación, segundo paso

$\underline{D}_1 = \{Cc, Hh, li\}$ , y los valores calculados para hacer la sobreclasificación son los siguientes:

$\lambda_0$	$s(\lambda_0)$	$\lambda_0 - s(\lambda_0)$	$\lambda_1$
1.00	0.15	0.850	0.000

La Tabla 33 muestra los resultados del segundo paso.

Alternativa	Cc	Hh	li	Valor de fuerza $P_A^{\lambda_1} (a)$
Cc	-			0.00
Hh		-		0.00
li			-	0.00
Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1} (a)$	0.00	0.00	0.00	

Alternativa	Valor de Fuerza $P_A^{\lambda_1} (a)$	Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1} (a)$	Calificación $q_A^{\lambda_1} (a)$
Cc	0.00	0.00	0.00
Hh	0.00	0.00	0.00
li	0.00	0.00	0.00

Tabla 33: Resultados de la tercera destilación segundo paso del proceso de destilación ascendente  
Fuente: Elaboración propia

Todas las alternativas tienen la misma calificación 0. Ninguna sobreclasifica a otra. Por lo tanto,  $\underline{C}_3 = \underline{D}_2 = \{Cc, Hh, li\}$ .

### Cuarta destilación, primer paso

$\underline{A}_3 = \underline{A}_2 - \underline{C}_3 = \{Aa, Ee, Ff, Gg\}$  y los valores calculados para hacer la sobreclasificación son los siguientes:

$\lambda_0$	$s(\lambda_0)$	$\lambda_0 - s(\lambda_0)$	$\lambda_1$
1.00	0.15	0.850	0.000

La Tabla 34 muestra los resultados de la cuarta destilación.

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	li	Valor de fuerza $P_A^{\lambda_1} (a)$
Aa	-	-	-	-		Aa S Ff		-	-	1.00
Bb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Cc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Dd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Ee		-	-	-	-			-	-	0.00
Ff		-	-	-		-		-	-	0.00
Gg		-	-	-			-	-	-	0.00
Hh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
li	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1} (a)$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	

Alternativa	Valor de Fuerza $P_A^{\lambda_1} (a)$	Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1} (a)$	Calificación $q_A^{\lambda_1} (a)$
Aa	1.00	0.00	1.00
Bb	-	-	-
Cc	-	-	-
Dd	-	-	-
Ee	0.00	0.00	0.00
Ff	0.00	1.00	-1.00
Gg	0.00	0.00	0.00
Hh	-	-	-
li	-	-	-

Tabla 34: Resultados de la cuarta destilación primer paso del proceso de destilación ascendente  
Fuente: Elaboración propia



Por lo tanto:  $\underline{C}_4 = \underline{D}_1 = \{Ff\}$ .

### Quinta destilación, primer paso

$\underline{A}_4 = \underline{A}_3 - \underline{C}_4 = \{Aa, Ee, Gg\}$ , y los valores calculados para hacer la sobreclasificación son los siguientes:

$\lambda_1$	$s(\lambda_1)$	$\lambda_1 - s(\lambda_1)$	$\lambda_2$
1.00	0.15	0.850	0.000

La Tabla 35 muestra los resultados de la quinta destilación.

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	Ii	Valor de fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$	Alternativa	Valor de Fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$	Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	Calificación $q_A^{\lambda_1}(a)$
Aa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	Aa	0.00	0.00	0.00
Bb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	Bb	-	-	-
Cc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	Cc	-	-	-
Dd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	Dd	-	-	-
Ee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	Ee	0.00	0.00	0.00
Ff	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	Ff	-	-	-
Gg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	Gg	0.00	0.00	0.00
Hh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	Hh	-	-	-
Ii	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	Ii	-	-	-
Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					

Tabla 35: Resultados de la quinta destilación primer paso del proceso de destilación ascendente  
Fuente: Elaboración propia

$\underline{D}_1 = \{Aa, Ee, Gg\}$ . Ninguna alternativa tiene una calificación menor que otra, es necesario ir a un segundo paso para determinar  $\underline{C}_5$ .

### Quinta destilación, segundo paso

$\underline{D}_1 = \{Aa, Ee, Gg\}$ , y los valores calculados para hacer la sobreclasificación son los siguientes:

$\lambda_0$	$s(\lambda_0)$	$\lambda_0 - s(\lambda_0)$	$\lambda_1$
1.00	0.15	0.850	0.000

La Tabla 36 muestra los resultados del segundo paso.

Alternativa	Aa	Ee	Gg	Valor de fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$
Aa	-			0.00
Ee		-		0.00
Gg			-	0.00
Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	0.00	0.00	0.00	

Alternativa	Valor de Fuerza $P_A^{\lambda_1}(a)$	Valor de debilidad $f_A^{\lambda_1}(a)$	Calificación $q_A^{\lambda_1}(a)$
Aa	0.00	0.00	0.00
Ee	0.00	0.00	0.00
Gg	0.00	0.00	0.00

Tabla 36: Resultados de la quinta destilación segundo paso del proceso de destilación ascendente  
Fuente: Elaboración propia

En este segundo paso, todas las alternativas mantienen la misma calificación de 0 entre sí, ninguna sobreclasifica a otra, por lo tanto:  $\underline{C}_5 = \underline{D}_2 = \{Aa, Ee, Gg\}$ . No se tienen más alternativas, el proceso de destilación ascendente queda concluido.

La Figura 9 muestra la destilación ascendente de las alternativas. Segundo preorden.

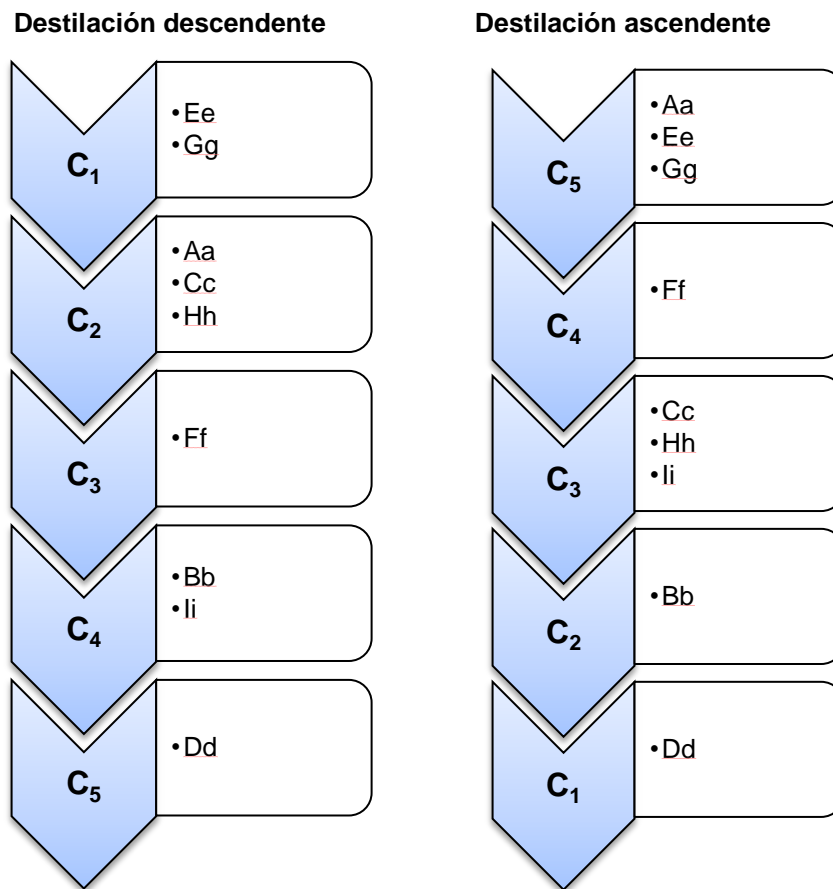


Figura 9: Destilación descendente y ascendente  
Fuente: Elaboración propia con base en Giannoulis et. al. (2010)

En la destilación descendente, la alternativa Ee y Gg están clasificadas en primer lugar, por lo tanto dominan a las demás, esto señala o enfatiza la importancia de CR4 (alta importancia del producto) donde las alternativas Ee y Gg, tienen uno de los valores más bajos, que son los valores más preferibles. La alternativa Dd está clasificada en último lugar. Su valor en CR1 (Dificultad en ampliaciones y adquisición de maquinaria) y en CR2 (Probabilidad de que los lotes piloto salgan bien en el primer intento), es de los más altos y es contrario al sentido de preferencia en estos dos criterios. Esto da un indicador inicial, pero no definitivo, de la importancia que se debe considerar para la transferencia de los productos. En el nivel C2 se observan las alternativas; Aa, Cc y Hh. Para las tres alternativas se tiene indiferencia sobre la clasificación de una sobre otra, ya que las 3 obtuvieron la misma calificación durante el proceso de destilación. La misma situación se presenta en C4 con las alternativas Bb y Ii.

En la destilación ascendente la alternativa Dd es la más débil, por lo tanto, está en el nivel C1 y de manera tentativa se considera como la última en ser transferida. La explicación de su desempeño es igual a la que se dio en la destilación descendente. En el nivel C5, las alternativas Aa, Ee y Gg son indiferentes debido a que obtuvieron la misma calificación, las tres mantienen un desempeño similar en el criterio CR4, CR1 y CR2. En el nivel C3, las alternativas; Cc, Ii y Hh, son indiferentes entre si.

Los dos preórdenes obtenidos no son iguales, pero al compararlos, se considera que están muy cerca uno del otro, en caso contrario, es necesario hacer una revisión de los datos de la Tabla 14 para identificar la divergencia entre ellos y replantear el valor de estos. En el siguiente capítulo se procede a combinar estos dos preórdenes para obtener la clasificación final.

## Capítulo 4 Resultados, análisis de sensibilidad y discusión

En este capítulo se explica y realiza la clasificación final o *ranking* de alternativas. Esta clasificación es analizada y se considera todavía, como no definitiva, esto es debido, a la realización de un análisis de sensibilidad, obteniendo diferentes escenarios en donde una o varias alternativas cambian de lugar en la clasificación. Cada uno de estos escenarios es analizado para detectar factores que inciden en el orden definido inicialmente y se obtiene como resultado una clasificación final definitiva. En la última sección del capítulo se hace la discusión del trabajo para dar paso a las conclusiones finales.

### 4.1 Clasificación final

La clasificación final o *ranking* final se obtiene mediante la combinación de los dos preórdenes (Secciones 3.9 y 3.10). Los resultados de los dos preórdenes se agregan a la matriz de clasificación (Tabla 37). Cuatro casos se pueden presentar al hacer la combinación (Giannoulis & Ishizaka, 2010):

- La alternativa **a** clasifica más alto que la alternativa **b** en ambas destilaciones, o **a** clasifica más alto que **b** en una destilación y tiene la misma clasificación que **b** en la otra destilación. Entonces, **a** es mejor que **b** y en la matriz de clasificación se representa como P+.
- La alternativa **a** clasifica más alto que la alternativa **b** en una destilación y **b** clasifica más alto que **a** en la otra destilación. Entonces **a** es incomparable con **b** y en la matriz de clasificación se representa como R.
- La alternativa **a** tiene la misma clasificación que **b** en ambas destilaciones. Entonces, **a** es indiferente a **b** y en la matriz de clasificación se representa como I.
- La alternativa **a** clasifica más bajo que la alternativa **b** en ambas destilaciones, o **a** clasifica más bajo que **b** en una destilación y tiene la misma clasificación que **b** en la otra destilación. Entonces, **a** es peor que **b** y en la matriz de clasificación se representa como P-.

La clasificación final se obtiene sumando el número de P+ de cada alternativa. En caso de un empate se analiza la relación de indiferencia o incomparabilidad entre ellas para definir su posición dentro de la clasificación. La Tabla 37 muestra la combinación de los dos preórdenes considerando los cuatro casos que se pueden presentar entre las alternativas.

Alternativa	Aa	Bb	Cc	Dd	Ee	Ff	Gg	Hh	Ii	Total P+
Aa	-	P+	P+	P+	P-	P+	P-	P+	P+	6.00
Bb	P-	-	P-	P+	P-	P-	P-	P-	P-	1.00
Cc	P-	P+	-	P+	P-	R	P-	I	P+	3.00
Dd	P-	P-	P-	-	P-	P-	P-	P-	P-	0.00
Ee	P+	P+	P+	P+	-	P+	I	P+	P+	7.00
Ff	P-	P+	R	P+	P-	-	P-	R	P+	3.00
Gg	P+	P+	P+	P+	I	P+	-	P+	P+	7.00
Hh	P-	P+	I	P+	P-	R	P-	-	P+	3.00
Ii	P-	P+	P-	P+	P-	P-	P-	P-	-	2.00

Tabla 37: Matriz de clasificación final  
Fuente: Elaboración propia con base en Giannoulis et. al. (2010)

La Figura 10 muestra la clasificación final. En esta se puede ver que las alternativas Ee y Gg tienen el mismo score, al ser indiferente una de la otra se dejan en el mismo nivel de clasificación. Es indistinto a cual se le asigna la prioridad 1 de transferencia y cual queda con prioridad 2.

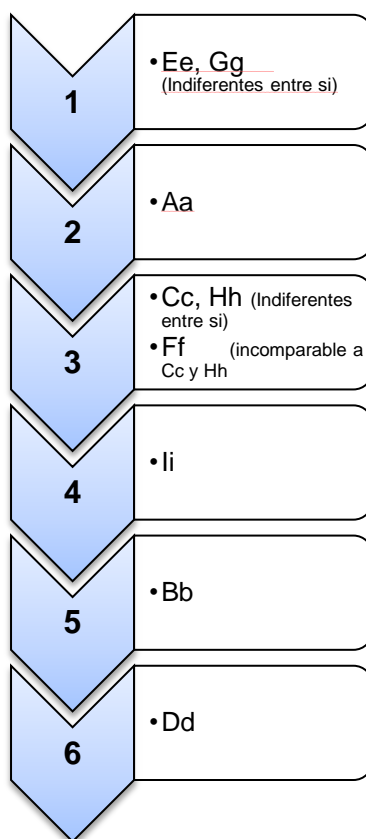


Figura 10: Clasificación final de las alternativas  
Fuente: Elaboración propia con base en Giannoulis et. al. (2010)

La clasificación final (todavía no definitiva) de las alternativas, indica transferir en primer y segundo lugar (es indistinto) las alternativas Ee y Gg, y en tercer lugar Aa. Estas alternativas representan grupos de productos que son muy importantes para la compañía (criterio CR4, con un peso de 0.33), en el cual se tiene preferencia por los valores menores. Estas tres alternativas tienen los valores más bajos, que son; 1.33, 1.50 y 1.20 respectivamente. Para las alternativas Ee y Aa, la alta probabilidad de éxito de los lotes piloto (criterio CR2 con un peso de 0.27) y la alta disponibilidad de materiales para la fabricación del inventario de seguridad (criterio CR3 con un peso de 0.07), son situaciones comunes a estas dos alternativas y afectan directamente en la prioridad de su transferencia.

La alternativa Gg, no tienen alta probabilidad de éxito en los lotes piloto y tampoco tiene alta disponibilidad de materiales para la fabricación del inventario de seguridad. Su valor en cada criterio es de 3.00 y 6.00 respectivamente. Sin embargo, en los criterios CR1, CR5, CR6 y por supuesto en el CR4, posee valores muy deseables. Es por esto que Gg clasifica en primer lugar. Esto sugiere, tentativamente, que las actividades de adquisición y disponibilidad de materiales, así como las actividades de lotes pilotos sean planeadas y ejecutadas con mayor antelación a la normal y con carácter de urgente, para cumplir con la prioridad obtenida.

Resumiendo. La alternativa Ee contiene a los productos que van a ser transferidos dentro de la misma instalación y no tienen cambios en equipo (no hay un tiempo de espera por una ampliación o una compra de equipo), tienen una modificación en su sistema contenedor cierre, lo que implica una muy alta probabilidad de éxito en lotes piloto (no se contempla un retraso por este motivo) y son de los productos más importantes de la compañía (los más deseados en transferir primero).

Se tienen otros grupos de productos que también van a ser transferidos dentro de la misma instalación y no tienen cambios en equipo, pero se ven afectados, ya sea por su probabilidad de éxito en lotes piloto (probabilidad más baja), la disponibilidad de materiales (están dentro de los que tienen más tiempo de adquisición) o su importancia para la compañía (clasificación C, que son los menos importantes). Esto provoca prioridades inferiores de transferencia.

La alternativa Aa como prioridad 3 de transferencia, contiene productos que sí van a ser transferidos de área (a excepción de un producto), pero la probabilidad de éxito de lotes piloto es muy alta y también son productos muy importantes para la compañía clasificados como A. Adicional a esto, esta alternativa, es la que genera el costo más alto de inventario de seguridad, el cual se quiere minimizar.

Las alternativas Ff, Cc y Hh son consideradas para ser transferidas en cuarto, quinto y sexto lugar (entre la alternativa Cc y Hh, resulta indiferente la prioridad). Estas alternativas representan grupos de productos, que en el criterio CR4 importancia del producto, tienen los valores más altos, (2.5, 3.0 y 3.0 respectivamente) por lo tanto son de los productos “menos importantes para la compañía” porque se

tiene preferencia por valores menores, y en el criterio CR2 probabilidad de que los lotes piloto salgan bien en el primer intento, tienen valores altos (3.0, 3.0 y 1.0) y la preferencia también es por valores menores. Estos dos criterios influyen en el sentido descendente de su clasificación, pero su desempeño en los criterios CR1 dificultad en ampliaciones y adquisición de maquinaria, CR3 disponibilidad de materiales para la fabricación de inventario de seguridad (SS), es mucho mejor que el de las otras alternativas porque tiene valores menores. Esto influye en un sentido ascendente en su clasificación para que sean consideradas con una prioridad 4,5 y 6 para su transferencia. El equipo de trabajo en la planta, debe tomar las consideraciones pertinentes relacionadas con el criterio CR2 para reducir la afectación que se pueda tener sobre los productos que están en este grupo de alternativas.

Las alternativas; Ii, Bb y Dd, están consideradas con una prioridad de transferencia 7,8 y 9 respectivamente. Estas alternativas son las que muestran un desempeño menor en los criterios CR3, CR1 y CR4.

## **4.2 Análisis de sensibilidad**

Un análisis de sensibilidad es llevado a cabo en este trabajo para revisar, que efectos se generan en la clasificación final (Figura 10). Los valores de peso de los diferentes criterios son modificados para crear diferentes escenarios con los cuales ejecutar el método Electre III. El criterio CR5 se considera uno de los criterios menos importantes. Cualquier variación en el valor de peso, dentro de un rango de valores factibles, produce un efecto despreciable en el resultado final. Por lo tanto el criterio CR5 es descartado para hacer modificaciones en este, (los decisores no tienen motivo para hacer grandes variaciones en el valor de peso de este criterio).

Escenario 1. Los dos valores de peso más grandes corresponden a CR2 y CR4. Para estos dos criterios, los valores son igualados (un promedio aproximado de los dos valores), y para el resto de los criterios los valores permanecen sin cambios.

Escenario 2. La alternativa Gg clasifica en los primeros lugares (clasificación final), a pesar de que tiene valores menos deseables en los criterios CR2 y CR3. Esto es atribuible a que el valor de peso para CR3 es de los más bajos. Así fue definido en la asignación inicial (Sección 3.4). Con base a esto, Se aumenta el valor de peso del criterio CR3 para analizar el efecto que produce en la clasificación final. Entonces, los valores para los criterios CR2, CR3 y CR4 son igualados (un promedio aproximado de los tres valores). Para el resto de los criterios los valores permanecen sin cambios.

Escenario 3. Se aumenta el valor de peso de CR1 por medio de igualar los valores de; CR2, CR3 y CR4, incluyendo CR1. Los valores CR5 y CR6, permanece sin cambios.

Escenario 4. Se igualan aproximadamente los valores de pesos de CR1, CR2, CR3, CR4 y CR6, para analizar el impacto que tiene CR6 en la clasificación final.

Finalmente los valores de peso de todos los criterios son modificados, dejándolos en un promedio aproximado para analizar su comportamiento general y para hacer una comparación con los escenarios descritos. Los valores de peso utilizados en los diferentes escenarios se muestran en la Tabla 38.

Los resultados del análisis de sensibilidad se muestran en la Tabla 39. Para realizar los diferentes escenarios se usó el software Electre III proporcionado amablemente por LAMSADE, laboratorio perteneciente a la Universidad de Dauphine, París.<sup>8</sup>

		Criterios					
		CR1 ↓	CR2 ↓	CR3 ↓	CR4 ↓	CR5 ↓	CR6 ↑
Valores de peso (w)	Escenario 1	0.13	0.30	0.07	0.30	0.07	0.13
	Escenario 2	0.13	0.23	0.21	0.23	0.07	0.13
	Escenario 3	0.20	0.20	0.20	0.20	0.07	0.13
	Escenario 4	0.18	0.19	0.19	0.19	0.07	0.18
	Promedio	0.17	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17

Tabla 38: Valores de peso para análisis de sensibilidad  
Fuente: Elaboración propia

	Clas final	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Promedio de pesos w
1	Ee Gg	Ee	Ee	Ee	Ee	Ee
2	Aa	Gg	Aa	Aa	Aa	Aa,Cc,Hh,li
3	Cc,Hh,Ff	Aa	Ff	Cc,Hh,Ff	Cc,Hh,Ff	Ff
4	li	Hh	Cc,Hh	li	li	Gg
5	Bb	Cc, Ff	li	Gg	Gg	Bb
6	Dd	li	Gg	Bb	Bb	Dd
7		Bb	Bb	Dd	Dd	
8		Dd	Dd			

Tabla 39: Resultados del análisis de sensibilidad  
Fuente: Elaboración propia

Las siguientes observaciones se pueden obtener al comparar los diferentes escenarios contra la clasificación final (Figura 10).

Prueba con escenario 1. Las alternativas Ee, Gg y Aa siguen estando dentro de las primeras tres prioridades. Ee, continúa con prioridad 1, debido a su buen desempeño en los criterios CR1, CR2,

<sup>8</sup> <http://www.lamsade.dauphine.fr/~mayag/links.html>



CR3 y CR4. Al igualar el valor de peso de los criterios CR2 y CR4, que son los más altos, no se aprecia una afectación significativa en la clasificación final.

Prueba con escenario 2. La alternativa Ee y Aa se mantienen dentro de las primeras tres prioridades, la alternativa Ff, pasa a prioridad 3. El valor que tiene en el criterio CR3, es de los más deseables (el incremento en el valor de peso en el criterio CR3, de 0.07 a 0.21. provoca esto). La alternativa Gg, se desplaza a la antepenúltima posición, debido a que tiene el valor de desempeño menos deseable en el criterio CR3.

Prueba con escenario 3. La alternativa Ee y Aa están en prioridad 1 y 2. La alternativa Ff, se ubica en prioridad 3 junto con Cc y Hh. La alternativa Gg, al igual que en el escenario 2, tiene una prioridad solamente por arriba de Bb y Dd, las cuales, permanecen en penúltimo y último lugar en todos los escenarios, debido a que presentan los valores de desempeño menos deseables en la mayoría de los criterios.

Prueba con escenario 4. El hacer el cambio en el valor de peso en el criterio CR6, no se tiene variación en prioridades con respecto al escenario 3.

En la clasificación obtenida al considerar todos los pesos de los criterios en un promedio, la alternativa Ee sigue estando en prioridad 1 y Aa en prioridad 2. Gg, Bb y Dd permanecen en Antepenúltimo, penúltimo y último lugar en las prioridades de transferencia.

### **4.3 Evaluación del análisis de sensibilidad y clasificación final**

La comparación de los diferentes escenarios y de la clasificación final proporciona como resultado la siguiente clasificación final definitiva de las alternativas:

La Alternativa Ee. Es considerada como la mejor opción para iniciar con la transferencia de productos. En la clasificación final (Figura 10) y en cada uno de los escenarios, permanece en prioridad 1.

Alternativa Aa. Es considerada como la segunda mejor opción para la transferencia. Aparece consistentemente en prioridad 2 en todos los escenarios a excepción del escenario 1, Esto se explicará en el párrafo correspondiente a la alternativa Gg.

Las alternativas Ff, Cc, y Hh, son consideradas para ser transferidas en prioridad 3, 4 y 5. Aparecen consistentemente en esta posición (Escenarios 3, 4 y clasificación final).

Alternativa Ii aparece consistentemente después de Cc, Hh, Ff. Debido a esto se considera como prioridad 6 de transferencia.

Alternativa Gg. Como se menciona en la Sección 4.1, la alternativa Gg tiene una prioridad 1 de transferencia en la clasificación final, pero esta solamente puede ser cumplida si se puede garantizar una alta probabilidad de éxito de que los lotes piloto salgan bien en el primer intento y si los materiales van a estar disponibles para fabricar el inventario de seguridad. Si esto se puede lograr, entonces Gg se mantiene junto a Ee como las primeras en ser transferidas y en consecuencia se generan muchos beneficios en la organización, porque su valor en los criterios CR1, CR4 y CR6 es de los mejores, pero si las dos actividades anteriores no se pueden lograr, los decisores pueden tomar una postura conservadora y por lo tanto, deben aumentar el valor de peso del criterio CR4. Los escenarios 2,3 y 4 contemplan el incremento en valor de peso de CR4, esto provoca que la alternativa Gg sea considerada como prioridad 7, solamente por arriba de las alternativas Bb y Dd,

Alternativas Bb y Dd, están en la prioridad penúltima y última respectivamente. Esto se manifiesta consistentemente en todos los escenarios.

La clasificación final definitiva debe ser discutida con los decisores que aportaron la información inicial usada para armar la matriz de desempeño y compararla contra las prioridades que ellos creían que eran las mejores, acorde con su experiencia y conveniencia. Si los decisores tienen un alto grado de inconformidad con la clasificación final, es necesario revisar los valores de la Tabla 14, y volver a realizar los cálculos para ver el comportamiento de la clasificación final. (Rogers et al., 2000 ; Karagiannidis & Moussiopoulos, 1997 )

Finalmente, un cronograma de actividades de transferencia de productos, puede ser elaborado con base en esta clasificación y aportaciones finales de los decisores.

## **4.4 Discusión**

### **Comparación con otras investigaciones similares.**

El presente trabajo de tesis, coincide en los siguientes puntos encontrados por Georgopoulou, et al (1997) y Hokkanen et al (1997) respecto a la actitud que toman algunos decisores al intentar aplicar un método multicriterio en la toma de decisiones. Por ejemplo:

- Los aspectos técnicos de Electre III son difíciles de ser completamente entendidos, por lo tanto, para muchos de los decisores, el método termina siendo una especie de; “caja negra que proporciona una solución”. Esto puede provocar una tendencia a buscar metodologías menos complejas. En este sentido, es importante establecer un proceso sistemático dentro de la compañía en el que, la explicación clara de la metodología, sea una de las primeras y más

importantes actividades. En la medida en que las diferentes fases de la metodología se llevan a la práctica, Electre III, se vuelve comprensible y fácil de aplicar para ayudar a un grupo de decisores a alcanzar un consenso sobre un conjunto de posibles alternativas.

- Respecto a las escalas de valores asignadas a los criterios cualitativos para evaluar las alternativas, se presenta mucha controversia puesto que para algunos decisores una escala de 1 a 5 puede ser usada, para otros es muy estrecha y sugieren escalas con una mayor amplitud por ejemplo 1 a 10. En general, determinar una escala de valores para criterios cualitativos resulta ser controversial. En este trabajo la escala de 1 a 5 es aceptada sin mayor objeción pero, si hubiera existido un gran desacuerdo en el uso de esta, un análisis de sensibilidad puede ser llevado a cabo para observar posibles cambios que se puedan tener en la clasificación final definitiva al utilizar una escala de 1 a 10.
- Otros decisores, muestran satisfacción por el uso del método Electre III, ya que este obliga a considerar una mayor variedad de puntos de vista además de los costos involucrados. Se ha mencionado en el presente trabajo, que un gran número de criterios de evaluación pueden ser considerados y manejados con Electre III, pero no se debe perder de vista que una cantidad excesiva de estos, provoca dificultades para reunir a todos los decisores en las juntas del proyecto para hacer los análisis y evaluaciones.

Debido a estas situaciones, se propone que, una persona dentro de la compañía AVE debe ser formada como un analista que estudie, entienda y aplique este método en la organización, para facilitar el proceso de toma de decisiones. En la sección de conclusiones se aborda este punto.

## **Principales aportaciones**

Ante la falta de una metodología de apoyo en la toma de decisiones en la empresa AVE, en el cual todos los decisores pueden presentar sus puntos de vista e ir revisando como sus preferencias van modelando los resultados, la propuesta del método Electre III y su uso, es una opción para facilitar y hacer más objetiva la toma de decisiones en la planeación de la transferencia de productos de un área a otra, la cual puede ser escalada y utilizada en proyectos más grandes dentro de la compañía, por ejemplo, en la transferencia de productos entre plantas productivas de diferentes localidades e incluso de diferentes países. En estas situaciones, los requerimientos aumentan en cantidad y en complejidad.

Durante el proceso de estructuración del problema, los participantes adquieren un aprendizaje profundo del tipo de decisiones y criterios característicos del negocio. Este proceso ayuda a conocer mejor el funcionamiento de la empresa y los factores que se deben tomar en cuenta para la toma de decisiones futuras.

Finalmente, el método no solamente puede ser usado para determinar una jerarquía para la transferencia de los productos sino también como una herramienta de comunicación durante todo el proceso de la toma de decisiones.

### **Necesidades futuras de investigación**

En este trabajo, solamente se revisa y aplica el Método Electre III, por ser el más adecuado en la solución del problema (sección 1.2). No se emplea otro método de forma paralela con la finalidad de establecer comparaciones en los resultados obtenidos. ¿Qué resultados podemos obtener si utilizamos otro método multicriterio? En este sentido, surge la necesidad, de revisar que otras metodologías pueden ser utilizadas. En las últimas décadas, la variedad de métodos para resolver problemas de decisión multicriterio ha crecido rápidamente. En una revisión hecha por Mendoza y Martins (2006) sobre la utilización de los métodos multicriterio, aseveran que, AHP es la metodología más empleada en lo que respecta a los métodos de utilidad multiatributo y PROMETHEE y Electre, los métodos de sobreclasificación usados con mayor frecuencia. Leyva (2003) afirma que dos de los más populares métodos de sobreclasificación son PROMETHEE y Electre. La elección de un método debe considerar los siguientes aspectos principales: 1. la naturaleza del problema de decisión esto es, si es de selección, clasificación, ordenamiento o descripción, 2. las posibles formas de levantamiento y compilación de los datos, 3. La estructura de relaciones entre los objetivos del problema y 4. El tipo de comunicación que se espera entre el analista y el decisor (Autran et. al. 2011). Toloie-Eshlaghy y Homayonfar (2011) hacen una revisión de la literatura sobre metodologías multicriterio de 1999 a 2009, las clasifican de acuerdo a sus características particulares y campos de aplicación, dando un panorama general de la frecuencia en que los diferentes métodos ahí descritos son utilizados en diferentes áreas de la actividad humana. En un análisis comparativo entre los métodos Electre, PROMETHEE y SMART hecha por; Salminen, Hokkanen y Lahdelma (1998) para evaluar alternativas en un contexto ambiental, concluyen, que cuando sea posible, la utilización de más de un método de evaluación, es recomendable, para esto, actividades de capacitación de los diferentes métodos a usar tienen que ser implementadas y un procedimiento que indique como proceder después de obtener los resultados de los diferentes métodos es necesario en el grupo decisor. Es claro que la calidad de un método de evaluación depende esencialmente de su adecuación a la realidad del problema.

## Conclusiones

El método Electre III prueba ser una herramienta útil en la determinación de una prioridad de transferencia de productos dentro de la compañía AVE. El uso de este método permite que la imprecisión pueda ser considerada en los datos básicos o matriz de desempeño, Tabla 14. Esta característica es de gran importancia, especialmente cuando existe más de un decisor, cuyas preferencias constituyen parte de los datos básicos. Una de las ventajas en la aplicación de este método es la clara identificación de influencia de situaciones subjetivas en la clasificación final de las alternativas. El criterio CR2 “probabilidad de los lotes piloto de salir bien en el primer intento”, es un ejemplo de esto al incidir sobre las alternativas Ff y Gg.

Por medio de esta metodología, un mayor número de criterios para evaluar las alternativas pueden ser incorporados para el mejor análisis de decisiones (Electre III fuerza a que esto se cumpla, cuando se arma la matriz de desempeño). También permite hacer la comparación entre alternativas considerando todos los criterios. Sin una metodología la comparación entre alternativas se hace de manera limitada por parte de los decisores.

Algunas tareas previas son importantes para un mejor entendimiento y aplicación del método:

- La explicación y la definición de criterios aceptados por los decisores. Estos criterios deben ser lo suficientemente familiares a todos los decisores para tener una base en la cual discutir y argumentar sobre ellos y así poder asignar un peso de importancia a cada uno. En algunos casos, gente externa a la empresa puede ser considerada para aportar criterios con base en experiencia y conocimientos.
- La explicación de asignación de pesos a los criterios como un elemento crucial de la metodología. En la Sección 2.3 se mencionan técnicas que pueden ser usadas para determinar los pesos.
- La explicación de los umbrales de indiferencia, preferencia y veto, debido a que es difícil y quizá arbitrario la asignación de un valor para cada uno de ellos. Pero al entender el concepto, se pueden proponer valores que reflejen las preferencias y opiniones de los decisores.
- El proceso de cálculo es una parte importante de explicar a los decisores, no en una forma detallada, pero sí de manera general. Conviene explicar los resultados que se van obteniendo en cada fase del cálculo y como se utilizarán en la siguiente.

Los decisores son el elemento básico para la formulación de las alternativas y de los criterios de evaluación en el proyecto de transferencia, ya que ellos, establecen las propuestas específicas acorde a sus puntos de vista. Por lo tanto se debe de poner especial énfasis a la conformación del grupo de decisores.

Electre III y en general los métodos multicriterio son empleados en el análisis y planeación que antecede a la toma de decisiones, pero también pueden ser usados para evaluar las decisiones ya tomadas y si estas atienden o no los objetivos del problema, buscando con esto, aprender de las decisiones hechas.

Como actividades a futuro a ser realizadas dentro de la compañía AVE se observan las siguientes:

La capacitación de una persona dentro de la compañía AVE, en el método Electre III, cuya función sea la de un analista para la ayuda en la toma de decisiones. Destacando entre sus principales actividades las siguientes:

- Estudiar el método descrito en este trabajo y dar seguimiento a las actualizaciones del mismo.
- Capacitar al comité gerencial de la compañía en el método, y elaborar un procedimiento de operación de toma de decisiones que guíe las actividades del grupo.
- Apoyar a los gerentes que estén como líderes del proyecto, en los diferentes pasos de estructuración del problema.
- Ser un apoyo y guía en las reuniones de trabajo del proyecto, resaltando los resultados que son obtenidos en las diferentes fases del método y de como los valores que son definidos inciden en estos.
- La relación entre el analista y los decisores involucrados en el proyecto, es de un proceso de aprendizaje interactivo en el que se combinan aspectos formales -aquellos propios del método Electre III- con aspectos informales representados por las percepciones, intereses y deseos de los diferentes gerentes de área o decisores del proyecto.

La adquisición de un software es necesaria para hacer los cálculos y obtener resultados rápidamente de cada etapa del método. En las reuniones del proyecto de transferencia, será necesario simular diferentes escenarios y asegurar que la clasificación obtenida sea la que más se ajuste a las necesidades y restricciones del grupo decisor. Esto debe darse después de que el analista de la decisión o líder del grupo gerencial que esté coordinando el proceso de decisión conozca bien el método analítico.

El método Electre III ha permitido dar solución al problema de clasificación (*ranking*) de las alternativas propuestas. En cuanto al problema de elección al que se enfrenta el decisor cuando se le presenta el resultado, ya no solo dependerá de la metodología aplicada, sino que es responsabilidad del decisor tomar la decisión final, atendiendo la solución presentada por la metodología y con la colaboración del analista.

## Referencias

- Autran, L. F., Campos, A., Queiroz, J., de Souza, S., & Queiroz, D. (2011). TODIM: Un método multicriterio fundamentado en la teoría de prospectos. En J. C. Leyva López, *Análisis Multicriterio para la toma de decisiones: Metodos y Aplicaciones* (págs. 187-237). México: Plaza y Valdés editores.
- Belton, V., & Stewart, T. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis (An integrated approach)*. Dordrecht: Springer science, bussines media.
- Bouyssou, D. (1990). Building criteria: a prerequisite for MCDA. En C. A. Bana e Costa, *Readings in Multiple Criteria Decision Aid* (págs. 58-80). Berlin: Springer-Verlag.
- CANIFARMA. (2014). *Cámara Nacional de la Industria Farmacéutica*. Obtenido de <http://www.canifarma.org.mx/datoseconomicos.html>
- Cuevas, F. J. (2014). *Artículo: Diseño de Plantas Farmacéuticas*. Obtenido de [http://www.ancf.mx/docs/PDPF\\_11.pdf](http://www.ancf.mx/docs/PDPF_11.pdf)
- Day, R. A., & Gastel, B. (2006). *How to write and publish a scientific paper*. Westport Conn.: Greenwood Press.
- Evans, D., & Gruba, P. (2002). *How to write a better thesis*. Carlton, Victoria: Melbourne University Press.
- Georgopoulou, E., Lalas, D., & Papagiannakis, L. (1997). A multicriteria Decision Aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option. *European Journal of Operational Research*, 103, 38-54.
- Giannoulis, C., & Ishizaka, A. (2010). A Web-based decision support system with ELECTRE III for a personalised ranking of British universities. *Decision support systems*, 48(3), 488-497.
- Hammond, J. S., Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1999). *Decisiones inteligentes*. Bogotá: Norma S.A.
- Hokkanen, J., & Salminen, P. (1997). Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 98, 19-36.
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi Criteria Decision Analysis (methods and software)*. Chichester: Wiley.
- Jennings, D., & Wattam, S. (1996). *Toma de decisiones: Un enfoque integrado*. México: CECSA.
- Karagiannidis, A., & Moussiopoulos, N. (1997). Application of Electre III for the integrated management of municipal solid wastes in the Greater Athens Area. *European Journal of Operational Research*, 97, 439-449.
- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1976). *Decision with multiple objectives: Preferences and value trade offs*. New York: Wiley.
- Leyva, J. C., & Fernández, E. (2003). A new method for group decision support based on Electre III methodology. *European Journal of Operational Research*, 148, 14-27.
- Marzouk, M. (2011). ELECTRE III model for value engineering applications. *Automation in construction*, 20(5), 596-600.

- Matthews, J. R., Bowen, J. M., & Matthews, R. W. (2000). *Successful scientific writing. A step-by-step guide for the biological and medical sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Maystre, L. Y., & Bollinger, D. (1999). *Aide a la Negociation multicritere pratique et conseils*. Laussane: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Mendoza, G. A., & Martins, H. (2006). Multi criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management*, 230, 1-22.
- PROMÉXICO. (2014). *PRO MÉXICO inversión y comercio*. Secretaría de Economía. Obtenido de <http://www.promexico.gob.mx/es/mx/farmaceutico-inversion>
- Robbins, P. S. (1999). *Comportamiento organizacional*. México: Prentice Hall.
- Rogers, M., & Bruen, M. (1998). A new system for weighting environmental criteria for use within ELECTRE III. *European Journal of Operational Research*, 107, 552-563.
- Rogers, M., & Bruen, M. (1998). *Choosing realistic values of indifference, preference and veto thresholds for use with environmental criteria within ELECTRE*. *European Journal of Operational Research*, 107, 542-551.
- Rogers, M., & Duffy, A. (2012). *Engineering Project Appraisal*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Rogers, M., Bruen, M., & Maystre, L. (2000). *Electre and decision support. Methods and Applications in Engineering and Infrastructure Investment*. Norwell: Kluwer academic publishers.
- Roy, B., & McCord, M. R. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Roy, B. (1978). Electre III: Un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples. *Cahiers du CERO*, 20(1), 3-24.
- Roy, B. (1990). Decision-aid and decision-making. En C. A. Bana e Costa, *Readings in Multiple Criteria Decision Aid* (págs. 17-35). Berlin: Springer-Verlag.
- Roy, B. (1990). The outranking approach and the foundations of electre methods. En C. A. Bana e Costa, *Readings in Multiple Criteria Decision Aid* (págs. 155-183). Berlin: Springer-Verlag.
- Roy, B., & Hugonnard, J. C. (1982). Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by a multicriteria method. *Transport Research Record*, 16A(4), 301-312.
- Roy, B., Présent, M., & Shilhol, D. (1986). A programming method for determining which Paris metro stations should be renovated. *European Journal of Operational Research*, 24, 318-334.
- Rui Figueira, J., Greco, S., & Roy, B. (2009). ELECTRE methods with interaction between criteria: An extension of the concordance index. *European Journal of Operational Research*, 199(2), 478-495.
- Salminen, P., Hokkanen, J., & Lahdelma, R. (1998). Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems. *European Journal of Operational Research*, 104, 485-496.
- Siskos, J., & Hubert, P. (1988). Multi criteria analysis of the impacts of energy alternatives: A survey and a new comparative approach. *European Journal of Operational Research*, 13(3), 278-299.
- Toloie-Eshlaghy, A., & Homayonfar, M. (octubre de 2011). *MCDM Methodologies and Applications: A Literature Review from 1999 to 2009*. (R. J. Studies, Editor) Obtenido de



[http://www.researchgate.net/publication/259933820\\_MCDM\\_Methodologies\\_and\\_Applications\\_A\\_Literature\\_Review\\_from\\_1999\\_to\\_2009](http://www.researchgate.net/publication/259933820_MCDM_Methodologies_and_Applications_A_Literature_Review_from_1999_to_2009)

- Tzeng, G., & Huang, J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making*. B. R. Florida: CRC press Taylor and Francis Group.
- Valle, D., & Zielniewicz, P. (1994). *ELECTRE III-IV, version 3.x: Guide D Utilisation (tome 2)*. Paris: Document du LAMSADE No. 85 bis, Universite Paris-Dauphine.
- Vincke, P. (1990). Basic concepts of preference modelling. En C. A. Banna e Costa, *Readings in Multiple Criteria Decision Aid* (págs. 101-118). Berlin: Springer-Verlag.
- Wilkinson, A. M. (1991). *The scientist's handbook for writing papers and dissertations*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Yáñez, C. I. (2011). *Cadena de suministro y cambio organizacional en una empresa del sector farmacéutico*. (Tesis de maestría): Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Ciencias Sociales y Administrativas, México D.F, México.

## Glosario de términos

**Algoritmo.** Conjunto ordenado y finito de operaciones que permiten hallar la solución de un problema.

**Análisis multicriterio:** Conjunto de técnicas orientadas a asistir los procesos de toma de decisión a través del estudio y evaluación de un número de alternativas a la luz de los objetivos en conflicto y de múltiples criterios, normalmente económicos sociales y ambientales.

**Clasificación (*ranking*).** Relación de alternativas en un orden decreciente de preferencias.

**Constructo.** Es una dimensión evaluativa bipolar simbolizada o no por una etiqueta verbal que discrimina entre elementos dependiendo de las características en concreto que abstrae.

**Criterio.** Función de valor real dentro de un conjunto de alternativas que permite comparar a dos de ellas conforme a un punto de vista particular.

**Decisión.** Proceso que conduce directa o indirectamente a la elección de al menos una de entre un conjunto de alternativas de decisión, cada una de las cuales son candidatas para resolver el problema específico.

**Decisor.** Es la persona o grupo de personas responsable de tomar la decisión.

**Destilación ascendente.** Proceso para obtener un preorden de las alternativas, seleccionando en primer lugar a la peor alternativa y en último lugar a la mejor. Este proceso es ejecutado en la segunda fase del método Electre III denominada explotación de la relación de sobreclasificación.

**Destilación descendente.** Proceso para obtener un preorden de las alternativas, seleccionando en primer lugar a la mejor alternativa y en último lugar a la peor. Este proceso es ejecutado en la segunda fase del método Electre III denominada explotación de la relación de sobreclasificación.

**Dominancia.** Es el grado en que la alternativa **a** supera a una alternativa **b** por lo menos en un atributo o criterio de evaluación y permanece igual en el resto de los atributos o criterios de evaluación.

**Electre III ( *Elimination et choix traduisant la realite* ).** Es un método de sobreclasificación para manejar situaciones de toma de decisiones con múltiples criterios, en donde, un conjunto finito de alternativas deben ser clasificadas de la mejor a la peor. El acrónimo Electre significa; Eliminación y elección que expresa la realidad.

Grado de credibilidad. Es un número real entre 0 y 1 asociado a cada par de alternativas (**a,b**) que caracteriza el grado de fuerza de los argumentos para los que **a** sobreclasifica **b**.

Incomparabilidad. Relación binaria entre dos alternativas en donde no existen claras y positivas razones que justifiquen; indiferencia, preferencia estricta o preferencia débil.

Índice de concordancia. Es una medida de los argumentos a favor de la aseveración; la alternativa **a** sobreclasifica a la alternativa **b**.

Índice de discordancia. Es la medida de robustez de las razones para refutar la aseveración planteada en el índice de concordancia.

Indiferencia. Relación binaria entre dos alternativas en donde existen claras y positivas razones que justifican la equivalencia entre estas.

Lote piloto. Es el lote elaborado por un procedimiento representativo que simule al lote de producción. En el caso de formas farmacéuticas sólidas deberá corresponder al menos al 10% del lote de producción o a 100,000 tabletas o cápsulas.

Lote producción. El lote elaborado para comercialización.

Preferencias. Relación binaria entre dos objetos (alternativas). Hay cuatro categorías principales de preferencias; Indiferencia, preferencia estricta, preferencia débil e incomparabilidad.

Preferencia estricta: Relación binaria entre dos alternativas en donde existen claras y positivas razones que justifican una preferencia significativa a favor de una de las dos alternativas como opuesta a la otra.

Preferencia débil: Relación binaria entre dos alternativas en donde existen claras y positivas razones que no implican una preferencia estricta a favor de una de las dos alternativas como opuesta a la otra, pero estas razones son insuficientes para deducir si esta es una preferencia fuerte o una indiferencia entre las dos alternativas.

Preorden. Sea  $A$  un conjunto finito de elementos  $a, b, c, \dots$  y  $|A|$  su número de elementos. Una relación binaria  $R$  del conjunto  $A$ , es un subconjunto del producto cartesiano  $A \times A$  esto es, un conjunto de pares ordenados (**a,b**) tal que **a** y **b** pertenecen a  $A$ . Un preorden es entonces, un subconjunto de relaciones binarias del conjunto  $A \times A$  que es reflexivo y transitivo.

Preorden completo. Subconjunto de relaciones binarias del conjunto  $A \times A$  que es reflexivo, transitivo y completo. ( ver preorden)

Relación de sobreclasificación (*outranking*). Es una relación binaria  $R$  definida en un conjunto de alternativas  $A$  tal que, para cada par de alternativas  $(a, b) \in A \times A$ :  $a$  sobreclasifica  $b$  si existen suficientes argumentos para establecer que la alternativa  $a$  es al menos tan buena como la alternativa  $b$ , y al mismo tiempo no existen razones para refutar tal afirmación.

Teoría constructos personales o PCT (*Personal Construct Theory*). Teoría desarrollada por George A. Kelly que parte del postulado filosófico del alternativismo constructivo según el cual, el significado que atribuimos a la experiencia es el resultado de una construcción personal.

Umbral de indiferencia  $q$ . Valor abajo del cual un decisor es indiferente a dos alternativas.

Umbral de preferencia  $p$ . Valor arriba del cual el decisor muestra una preferencia estricta de una alternativa sobre otra.

Umbral de veto  $v$ . Valor en el cual un criterio discordante provoca que el decisor niegue una relación de sobreclasificación para un conjunto de alternativas.

Valor de peso  $w_j$ . Es la expresión de importancia relativa que se asigna a un criterio  $j$  para evaluar un conjunto de alternativas.

## Listado de acrónimos

**AHP.** *Analytic Hierarchy Process*. Proceso analítico de jerarquías

**Electre.** *Elimination et choix traduisant la realite*. Eliminación y elección que expresa la realidad

**LAMSADE.** *Laboratoire d'Analyse et modelisation de Systemes pour l'Aide a la Décision*. Laboratorio de análisis y modelado de sistemas de apoyo a la decisión.

**MCDM.** *Multiple-Criteria Decision Aid*. Ayuda a la decisión multicriterio.

**MCDM.** *Multiple-Criteria Decisión Making*. Toma de decisiones multicriterio.

**PROMETHEE.** *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*. Método de preferencia clasificación y organización para el enriquecimiento de evaluaciones.

**SMART.** *Simple Multiattribute Rating Technique*. Técnica de calificación multiatributo simple