

**EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE PROVEEDORES:
METODOLOGÍA Y CASO DE ESTUDIO EN UNA ENSAMBLADORA
DE MOTOCICLETAS**

Rodrigo Restrepo Suárez

Septiembre de 2016

Tesis para optar por el título de
Magíster en Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Producción
Escuela de Ingeniería
Universidad EAFIT
Medellín

Asesor
Juan G. Villegas Ph.D.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	4
MARCO TEÓRICO	5
2.1 ¿Selección y evaluación de proveedores, por qué son estratégicas?	5
2.2 Clasificación de proveedores	7
2.3 Metodologías para la evaluación de proveedores.....	9
2.3.1 Metodologías tradicionales	9
2.3.2 Metodologías que usan programación matemática	10
2.3.3 Métodos multicriterio para apoyar las decisiones	10
2.3.4 Métodos basados en costos	10
2.3.5 Metodologías que usan simulación	10
2.3.6 Análisis estadístico	11
2.3.7 Aproximaciones basadas en inteligencia artificial	11
2.3.8 Metodologías que combinan varias técnicas	11
2.4 Dimensiones y atributos para evaluar la gestión de los proveedores.....	14
METODOLOGÍA	22
3.1 Selección de las dimensiones y los atributos	22
3.2 Análisis exploratorio de los datos	25
3.3 Escalamiento multidimensional.....	35
3.4 Clasificación de los atributos en entradas y salidas.....	37
3.5 Selección del modelo	38
3.5.1 Fase 1. Eficiencias técnicas	38
3.5.2 Fase 2. Ponderadores	39
3.5.3 Fase 3. Eficiencias cruzadas.....	40
3.6 Atributos ordinales	42
3.7 Selección del modelo para clasificar los proveedores	43
3.8 Análisis dimensional	44
DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	45
4.1 Resultados	46
4.2 Clasificación con base en la eficiencia cruzada	47
4.3 Clasificación con base en el índice de diversidad	48
4.4 Análisis dimensional	49
4.5 Ranking de proveedores	51
4.6 Clasificación con base en las eficiencias cruzada y de diversidad	53

4.7	Análisis de resultados por categoría y tipo de abastecimiento	56
4.7.1	Categoría 1 (proveedores con desempeño superior).....	57
4.7.2	Categoría 2 (proveedores tipo nicho).....	57
4.7.3	Categoría 3 (proveedores con bajo desempeño)	58
4.7.4	Categoría 4 (proveedores con buen desempeño general).....	58
4.8	Análisis de resultados por categoría y línea de producción	58
4.8.1	Categoría 1 (proveedores con desempeño superior).....	60
4.8.2	Categoría 2 (proveedores tipo nicho).....	60
4.8.3	Categoría 3 (proveedores con bajo desempeño)	61
4.8.4	Categoría 4 (proveedores con buen desempeño general).....	61
CONCLUSIONES		62
REFERENCIAS		64
AGRADECIMIENTOS		69

INTRODUCCIÓN

El propósito de este estudio es desarrollar una metodología para la evaluación y del portafolio de proveedores de una compañía ensambladora de motocicletas ubicada en el Valle de Aburrá, aplicando y ajustando los desarrollos académicos y prácticos a la naturaleza del caso de estudio. Si bien es deseable mantener un portafolio pequeño de proveedores del cual hagan parte los mejores, con el propósito de facilitar la gestión, generar relaciones más cercanas y de largo plazo y crear un impacto económico significativo para la empresa y los proveedores, también se debe buscar que en ese portafolio existan proveedores con capacidades únicas que contribuyan a la diversidad del mismo. En razón de los anterior, la metodología que se va a presentar para abordar el caso de estudio, va a incorporar dos etapas: en la primera se van a evaluar y en la segunda, los proveedores se van a categorizar de una forma que no solo valore el desempeño superior, sino aquellos atributos particulares que les permiten sobresalir y ser considerados únicos.

Los aportes de este trabajo ocurren en dos frentes: el primero concierne con la revisión de la literatura realizada para discernir las metodologías usadas para la evaluación y selección de proveedores, a través de la cual se estableció que el análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés) permite integrar un conjunto de atributos (clasificados como entradas o salidas) para evaluar y clasificar proveedores, en situaciones en las cuales una sola medida de desempeño puede resultar insuficiente para una valoración completa. El segundo aporte es el desarrollo de la metodología usando análisis envolvente de datos, para crear una estructura analítica, que por lo demás no riñe con la intuición y permite evaluar y categorizar a los proveedores de la empresa ensambladora, en función de su desempeño y capacidades, lo cual habilita a la compañía ensambladora para definir estrategias de gestión para cada categoría.

El caso de estudio está estructurado como sigue. En la sección 2 se desarrolla el marco teórico explicando por qué la selección y evaluación de proveedores son actividades estratégicas, cuáles son las metodologías que se han utilizado para evaluar y seleccionar proveedores y se presentan las dimensiones y atributos usados en las metodologías. La metodología es presentada en la sección 3, la cual inicia con la selección de las dimensiones y atributos, se complementa vía un análisis exploratorio de los datos para llegar al conjunto de las dimensiones y atributos finales y realizar con éstos un escalamiento dimensional; los atributos finales son clasificados en entradas y salidas para luego definir la orientación y los modelos de análisis envolvente de datos que se van a utilizar; debido a que existen atributos con naturaleza ordinal, en esta sección se explica el tratamiento que se le otorgará a estos datos y su incorporación al modelo; finalmente para concluir este capítulo, se introduce la estructura teórica para clasificar los proveedores y realizar el análisis dimensional de los atributos. A continuación, en la sección 4 se presenta el caso de estudio, en el cual se explica el origen de los datos, la depuración de los atributos y las clasificaciones con base en las cuales se van a discutir los resultados. El estudio continúa con la discusión de los resultados en el capítulo 5, los cuales se presentan en función de la eficiencia cruzada, el índice de diversidad, el ranking de proveedores, el análisis de las categorías con base en el tipo de abastecimiento y las líneas de producción, y culmina con el análisis dimensional y la revisión de los casos especiales. Para finalizar, en la sección 6 se detallan las conclusiones del estudio, entre las cuales una de ellas alude a una posible extensión del caso de estudio para futuras investigaciones.

MARCO TEÓRICO

2.1 ¿Selección y evaluación de proveedores, por qué son estratégicas?

El ambiente de negocios en el que compiten las firmas actualmente es claramente diferente del de las décadas pasadas. De acuerdo a lo expresado por Talluri et al. (2013), las mejoras en la capacidad computacional aunadas con el advenimiento de la Internet, han disminuido los costos de coordinación necesarios para integrar exitosamente en una sola cadena de abastecimiento, firmas disímiles ubicadas en cualquier parte del mundo. Talluri et al. (2013) afirman que la tercerización ha ido ganando preponderancia en los últimos años, y a razón de ello, la atención para la coordinación de la cadena de abastecimiento se ha desplazado de la administración de unidades al interior de una compañía, hacia la administración de compañías con clientes globales y redes de proveedores.

Con el incremento de la importancia de la función de compras, las decisiones que allí se toman han cobrado relevancia, debido a que las organizaciones son más dependientes de los proveedores y las consecuencias directas e indirectas por decisiones erradas son más severas. Por ejemplo, Talluri & Narasimhan (2004) mencionan que en compañías industriales la participación de las compras en el total de los ingresos oscila entre el 50% y el 90%, lo cual hace que las decisiones acerca de las estrategias de compras y operaciones sean determinantes primarios de la utilidad. Adicionalmente, como ha sido manifestado por De Boer et al. (2001), factores como la globalización del comercio y la Internet modifican las preferencias de los clientes, obligando a realizar la selección y evaluación de proveedores de una forma más amplia y rápida. Por todo lo anterior, se entiende que un departamento eficiente de compras debe estar permanentemente evaluando alternativas para ahorrar costos operacionales.

Mahdiloo et al. (2014) afirman que con el objetivo de lanzar nuevos productos, satisfacer las necesidades de los consumidores y hacer el nuevo producto competitivo en términos de calidad y costo, los fabricantes deberían enfocarse en seleccionar buenos proveedores y desarrollar relaciones de largo plazo con ellos.

Concerniente a las licitaciones en los organismos públicos en cuyas regulaciones se demanda mayor transparencia, Falagario et al. (2012) sostienen que la adjudicación de las propuestas ganadoras es un proceso bastante complejo, como consecuencia del número de oferentes y la combinación de los factores monetarios y técnicos. De tal que una evaluación objetiva basada en una categorización sin ambigüedades deberá favorecer la transparencia.

El abastecimiento estratégico es un desafío crucial que enfrentan muchas compañías comprometidas con las últimas innovaciones de la administración de la cadena de abastecimiento. Con el reciente énfasis de la filosofía de manufactura Justo a Tiempo (JIT, por sus siglas en inglés) y el ambiente dinámico en el que suceden las operaciones, las relaciones a largo plazo con los proveedores se han tornado más importantes y vitales para mejorar el desarrollo organizacional. Talluri & Narasimhan (2004) sugieren que las decisiones para el abastecimiento estratégico no deben basarse únicamente en métricas operacionales, sino que deben incorporar dimensiones y atributos estratégicos, tales como el énfasis en prácticas de administración de calidad (administración total de la calidad, cero defectos, mejoramiento de procesos), capacidad de proceso, prácticas de administración, capacidades

de diseño y desarrollo (diseño para manufacturabilidad, modularidad, rediseño de producto, ingeniería concurrente y estandarización), puesto que la incorporación de estas prácticas traerá consigo mejoras tangibles en calidad, reducción de costos y mejor desempeño de la entrega.

Braglia & Petroni (2000) mencionan que el aumento de la preocupación por la selección de proveedores, probablemente se deba a que esta actividad podría ser la etapa individual más importante en el proceso de compras. A razón de lo anterior, los directores de compras necesitan evaluar periódicamente los proveedores en aras de conservar aquellos que reúnan los requerimientos en función del desempeño en múltiples dimensiones. Patton (1996) establece que la selección de proveedores involucra dos tareas: evaluación y selección. La tarea de evaluar típicamente consiste en identificar las dimensiones, atributos o factores relevantes, para posteriormente medir o evaluar el desempeño de cada proveedor en cada uno de los factores relevantes. Parte de este proceso de evaluación podría consistir en determinar la importancia relativa de cada uno de los factores. La selección puede ser definida como el seguimiento de un conjunto de reglas de decisión, a través de las cuales la persona responsable de la decisión, lleva a cabo un proceso de integración que le permite combinar información multiatributo compleja, para escoger entre alternativas que compiten.

Ho et al. (2010) definen como una de las funciones primordiales de la actual administración de la cadena de abastecimiento sostener relaciones asociativas de largo plazo con los proveedores, de tal forma que escoger los proveedores adecuados dependerá de un amplio rango de atributos cualitativos y cuantitativos y no solo de una revisión de las listas de precios. Talluri y Narashiman (2004) mencionan que estos atributos suministran información a los directores de las organizaciones respecto a la infraestructura y las prácticas empleadas por los proveedores, las cuales son claves para el establecimiento de relaciones a largo plazo.

Una gran variedad de técnicas utilizadas para la evaluación de proveedores, asignan subjetiva y arbitrariamente ponderadores de importancia a cada uno de los factores. Debido al incremento de la complejidad de los procesos para la toma de decisiones en términos de los factores y las alternativas consideradas, la dificultad para asignar ponderadores a los factores también aumenta. Talluri & Narasimhan (2004) manifiestan que la ventaja primordial de los métodos que utilizan evaluación relativa, es que éstos permiten agrupar los proveedores con base en el desempeño, lo cual suministra evaluaciones profundas a los directores y los asiste para tomar decisiones respecto a los programas e iniciativas para el desarrollo de proveedores.

Talluri et al. (2013) establecen que el número de proveedores a mantener es una decisión crítica en las compras estratégicas. Mientras que las compras transaccionales son llevadas a cabo a través de un grupo grande de proveedores, los cuales compiten agresivamente y son gestionadas a través de contratos del día a día, vía precio, programación y pagos, las compras estratégicas dirigen la atención a la selección y evaluación de proveedores, las cuales impactan en el carácter y la forma de la cadena global de abastecimiento. Las compras estratégicas son generalmente realizadas a un número pequeño de proveedores caracterizados por su lealtad, apertura y credibilidad. Debido a que el grupo de proveedores estratégicos es pequeño, éstos disfrutan de un alto porcentaje de la oferta de la compañía, razón por la cual pueden desarrollar economías de escala, mejorar su situación financiera e invertir en el mantenimiento de las relaciones a largo plazo y crecer conjuntamente con la compañía a la cual suministran.

La racionalización de proveedores es el proceso para determinar que compañías deben retirarse del portafolio y cuáles deben permanecer, con el objetivo de reducir el número de proveedores que la organización debe administrar. Sin embargo, Talluri et al. (2013)

manifiestan que si bien es importante racionalizar la base de proveedores, desarrollar una estrategia que incluya los mejores proveedores, también es crucial para mantener la diversidad, la cual, por ejemplo, clasifica dos proveedores con similar calificación como homogéneos o heterogéneos según su desempeño. De tal manera que ignorar la condición de diversidad puede generar una base más pequeña de proveedores, pero también más redundante.

Muchos métodos han sido propuestos para evaluar y seleccionar proveedores; no obstante, éstos tienen limitaciones tales como: evaluaciones llevadas a cabo solo en métricas operacionales sin consideración de las capacidades estratégicas, asignación simple de ponderadores basada en evaluaciones subjetivas, métodos inapropiados o arbitrarios para derivar factores de ponderación. Estos métodos, en general, carecen de herramientas para realizar una evaluación relativa entre varios proveedores. En la siguiente sección se realiza una caracterización de las principales metodologías (y de las técnicas específicas) desde las más básicas e intuitivas hasta las más estructuradas y complejas, para la evaluación de proveedores.

2.2 Clasificación de proveedores

Kotler et al. (2005) definen la segmentación de proveedores como el proceso de dividir los proveedores en grupos con distintas necesidades, características o comportamientos, los cuales requieren diferentes tipos de estructuras relacionales con el propósito de generar valor. Magnan & Moeller (2010) expresan que la clasificación del portafolio de proveedores es frecuentemente un prerrequisito para determinar las directrices para que los intercambios entre la empresa cliente y los proveedores puedan progresar, además de servir para estructurar la estrategia de abastecimiento. Adicionalmente, los autores declaran que la comprensión de la naturaleza de las relaciones con la base de proveedores es la clave para diseñar estrategias apropiadas de gestión, que eviten el oportunismo de los proveedores, exploten el poder diferencial o construyan en mutua dependencia donde el poder es compartido. Olsen & Ellram (1997) resaltan que los modelos para clasificar proveedores, sugieren posibles planes de acción, entre los cuales la compañía puede escoger para asignar productos y servicios a proveedores, direccionar recursos internos y decidir sobre las inversiones para la creación y fortalecimiento de las relaciones con los proveedores. Corbos et al. (2013) establecen que la segmentación de proveedores representa una aproximación estratégica para las compañías con un gran número de proveedores, puesto que las empresas cliente en lugar de administrar un proveedor separadamente, pueden establecer un conjunto de reglas para interactuar con un conjunto de proveedores.

De acuerdo con Magnan & Moeller (2010) la aproximación más popular para la categorización de los proveedores, desde la perspectiva de la empresa cliente, ha sido la matriz de portafolio. Kraljic (1983) fue quien introdujo por primera vez la matriz de portafolio para la gestión de compras y la administración de abastecimiento, cuyo propósito era prevenir interrupciones en la cadena de suministro y administrar las dinámicas económicas y tecnológicas cambiantes. La matriz de Kraljic clasifica los productos y servicios comprados con base en dos dimensiones: impactos en las utilidades y riesgo de abastecimiento (alto y bajo). El resultado es una matriz de 2 x 2 y una clasificación en cuatro categorías: cuellos de botella, no críticos, influenciables y estratégicos. Cada una de las categorías requiere un tipo particular de administración: con los proveedores tipo cuello de botella se deben asegurar los volúmenes, ejercer control sobre el suministro, establecer stocks de seguridad y desarrollar planes de

contingencia; con respecto a los no críticos, los esfuerzos deben dirigirse a disminuir los costos transaccionales, por ejemplo, a través del abastecimiento electrónico. Concerniente a los influenciables se debe hacer uso de la capacidad de negociación a través de subastas, precio objetivo y sustitutos; con los proveedores estratégicos se requiere construir una actitud más colaborativa. Gelderman (2003) argumenta que si bien otros investigadores han introducido variaciones a la matriz original de Kraljic, las dimensiones y categorías usadas son coincidentes, lo cual resulta en que las sugerencias y recomendaciones sean similares. Con base en lo anterior se puede aseverar que la matriz de Kraljic se ha convertido en el estándar para la clasificación del portafolio de proveedores. La tabla 1 presenta el comparativo de cinco modelos desarrollados en la literatura para la clasificación de proveedores:

Tabla 1. Comparativo de modelos para la clasificación del portafolio de proveedores

Autor (s)	Elliott-Shirecore and Steele (1985)	Hadeler and Evans (1994)	Lilliecreutz and Ydreskog (1999)	Olsen and Ellram (1997)	Van Weele (2002)
Nombre del modelo	Supervisión posición de abastecimiento	Diagrama de estrategia de suministro	Modelo de clasificación	Modelo de portafolio	Modelo de compras
Dimensiones	Utilidad/valor potencial	Valor potencial del producto	Perfil económico	Importancia estratégica	Impacto en la utilidad
	Vulnerabilidad del proveedor	Complejidad	Complejidad y perfil de riesgo	Dificultad para la administración	Riesgo de abastecimiento
Categorías	Crítico estratégico	No especificado	Estratégico	Estratégico	Estratégico
	Utilidad táctica		Influenciable	Influenciable	Influenciable
	Seguridad estratégica		Cuello de botella	Cuello de botella	Cuello de botella
	Adquisición táctica		No crítico	No crítico	No crítico

Nota. Elaborado con base en Gelderman & Van Weele (2013)

Dyer et al. (1998) llevaron a cabo un estudio sobre las prácticas para la administración de las relaciones con los proveedores de la industria automotriz, en 453 empresas ubicadas en Estados Unidos, Japón y Korea, con el propósito de establecer cuál era el modelo de abastecimiento superior. Los autores concluyeron que los proveedores se pueden clasificar en socios estratégicos y los denominados “de brazos abiertos permanentes”. Los proveedores estratégicos se definen como aquellos que suministran elementos de alto valor y juegan un rol importante en la diferenciación del producto final. Lo denominados de “brazos

abiertos permanentes” se caracterizan por suministrar insumos estandarizados que no contribuyen a la diferenciación del producto final.

Corbos et al. (2013) presentan cuatro formas para clasificar los proveedores:

- La utilizada por la industria automotriz, la cual toma como referente el estudio realizado por Dyer et al. (1998).
- Segmentación a través de una matriz cruzada con dos coordenadas: los riesgos en los que se incurre por la posición del proveedor en el mercado y los riesgos debido a la complejidad de los productos y servicios.
- El método ABC, en el cual se clasifican los proveedores con base en el monto de las compras anuales, además de considerar aspectos de calidad, logísticos y de la importancia estratégica del proveedor.
- El método a partir de la utilización de lógica Fuzzy con el cual se evalúan las capacidades y disposición del proveedor.

Talluri et al. (2013) proponen clasificar los proveedores con base en el análisis de las eficiencias cruzada y de diversidad simultáneamente, ambas calculadas a partir de un procedimiento matemático no paramétrico denominado “Análisis Envolvente de datos” (DEA, por sus siglas en inglés), el cual será explicado en la sección 3.5.3 de este estudio. Los autores argumentan que el análisis a partir de las eficiencias antes mencionadas, aplicado al contexto de abastecimiento, proporciona un análisis más completo debido a que permite identificar cuales proveedores tienen un desempeño superior pero además poseen capacidades únicas no alcanzables para otros proveedores.

2.3 Metodologías para la evaluación de proveedores

Si bien la clasificación abajo presentada no es definitiva tampoco es arbitraria, puesto que esta corresponde a la revisión y análisis de los artículos relacionados con evaluación y selección de proveedores, entre los años de 1986 y 2015, debidamente soportada en las referencias bibliográficas.

2.3.1 Metodologías tradicionales: estas metodologías incluyen valoraciones subjetivas (preferencias), porcentajes para ponderar los atributos a medir (y en algunos casos los atributos se desagregan en otros componentes con el propósito de precisar la calificación) y razones de costo (calidad, entrega y servicio). Willis et al. (1993) declaran que, si bien estas aproximaciones funcionan apropiadamente en determinadas condiciones, no suministran una metodología general aplicable para combinar múltiples dimensiones o criterios, en una medida de desempeño de los proveedores. En este grupo las técnicas más relevantes son: las basadas en el criterio humano: Patton (1996), las de categorización: Lamberson et al. (1976) y Timmerman (1986), las razones de costo: Timmerman (1986) y los métodos matriciales: Gregory (1986). No obstante ser estas técnicas versátiles y rápidas de utilizar, tienen inconvenientes tales como: las medidas de desempeño deben estar en unidades estándares, son bastante intuitivas y en el caso de las razones de costo se requiere de un sistema de información contable confiable, de cara a la precisión de los datos.

2.3.2 Metodologías que usan programación

matemática: de acuerdo a lo establecido por Talluri et al. (2013), estas técnicas se adaptan bastante bien en contextos donde existe un conjunto de metas o salidas ya definidas por la organización y en donde las dimensiones y atributos son cuantificables. El problema de decisión se formula en términos de una función objetivo matemática, sujeta a un grupo de restricciones, la cual debe ser maximizada (utilidad) o minimizada (costos) a través de los valores de las variables en la función. De Boer et al. (2001) argumentan que si bien los modelos matemáticos son más objetivos que los métodos de razón, quien toma la decisión se ve obligado a formular la función objetivo, la cual debido a su naturaleza matemática, puede resultar incomprensible e inabordable para quien no tenga esas habilidades. Algunas de las técnicas más representativas de este tipo de metodologías son: programación no lineal entera: Ghodsypour & O'Brien (2001), programación con metas: Hajidimitriou & Georgiou (2002) y Weber et al. (2000b), programación multiobjetivo: Narasimhan et al. (2006), Weber et al. (1998) y Weber et al. (2000a), Programación entera mixta: Degraeve & Roodhooft (1998), Talluri & Lee (2010) y Hong et al. (2005), análisis dimensional: Willis et al. (1993), programación con restricciones probabilísticas: Talluri et al. (2006) y Wu & Olson (2008), y modelos para calcular el tamaño de orden económica: Hwang et al. (1990) y Lee & Rosenblatt (1986).

2.3.3 Métodos multicriterio para apoyar las decisiones:

Talluri et al. (2013) afirman que estas técnicas son muy útiles para establecer relaciones entre las prioridades, cuando la importancia relativa de éstas se desconoce; para ello se han desarrollado ayudas matemáticas, estadísticas y conceptuales. De acuerdo a lo observado por Ho et al. (2010), estas técnicas para la selección de proveedores son las que presentaron mayor aplicación en el período 2005 – 2008. En este grupo de técnicas se encuentran: procesos analíticos jerárquicos: Liu & Hai (2005), Chan & Kumar (2007) y Hou & Su (2007), procesos analíticos de redes: Sarkis & Talluri (2002) y Gencer & Gürpınar (2007), análisis envolvente de datos: Narasimhan et al. (2001), Talluri & Narasimhan (2005), Çelebi & Bayraktar (2008) y Talluri et al. (2013), lógica fuzzy (difusa) de agrupación: Sarkar & Mohapatra (2006) y Florez-Lopez (2007), modelación estructural interpretativa: Mandal & Deshmukh (1994) y razón simple multiatributo: Barla (2003) y Huang & Keska (2007).

2.3.4 Métodos basados en costos:

este tipo de metodologías intentan abarcar todos los elementos transaccionales del costo, relacionados con el abastecimiento y el movimiento a través de toda la cadena de abastecimiento, de los bienes y servicios adquiridos. Con la cifra calculada se ajusta o penaliza el costo unitario ofertado por el proveedor. De Boer et al. (2001) manifiestan que la mayor parte de las investigaciones con esta metodología, se conocen como selección a partir del costo total de apropiación. Ellram (2005) sugiere que adoptar esta metodología requiere un cambio cultural para alejarse de la orientación hacia el precio y concentrarse en la concepción del costo. Estas técnicas se combinan con metodologías tales como: procesos analíticos y análisis envolvente de datos. Entre los investigadores que se han apoyado en esta técnica están: Garfamy (2006), Ramanathan (2007) y Visani et al. (2015).

2.3.5 Metodologías que usan simulación:

habitualmente estos métodos se han utilizado para modelar riesgos en la cadena de abastecimiento, pero también

han sido utilizados en modelos como los de Wu & Olson (2008) para decisiones de aprovisionamiento. En situaciones donde la complejidad de las interacciones excede las capacidades de un modelo definido, la simulación puede contribuir a reducir la complejidad. Talluri et al. (2013) consideran que la simulación puede ser aplicada en la mayoría de modelos donde las variables pueden ser definidas con propiedades estadísticas. Dos de los estudios que usaron esta técnica son: simulación del riesgo en la cadena de abastecimiento y selección de proveedor: Wu & Olson (2008) y análisis del perfil de proveedor: Thompson (1990). En ambas aplicaciones se utilizó la simulación de Montecarlo.

2.3.6 Análisis estadístico: estas metodologías incluyen la incertidumbre estocástica en sus modelos y se apoyan entre otras herramientas, en algoritmos de clasificación para agrupar atributos en unidades con características similares, identificación de pequeños grupos de variables responsables de una gran parte de la varianza en las variables originales y en la construcción de una función cuyo objetivo último es predecir el efecto de las variables independientes sobre las dependientes. Las siguientes son algunas de las técnicas que utilizan esta metodología: análisis de conglomerados: Talluri & Sarkis (1997) y Holt (1998), análisis de componentes principales: Petroni & Braglia (2000), análisis conjunto: Mummalaneni et al. (1996) y regresión múltiple: Holt (1998).

2.3.7 Aproximaciones basadas en inteligencia artificial: en palabras de Mahdilloo et al. (2014), estas metodologías están diseñadas para simular el funcionamiento del criterio humano para la toma de decisiones, además de acuerdo con De Boer et al. (2001), para recabar información de experiencias similares en situaciones anteriores. Algunas de las técnicas clasificadas en este grupo son: razonamiento basado en casos: Choy et al. (2005), algoritmos genéticos: Ding et al. (2005) y análisis con redes neuronales: Çelebi & Bayraktar (2008).

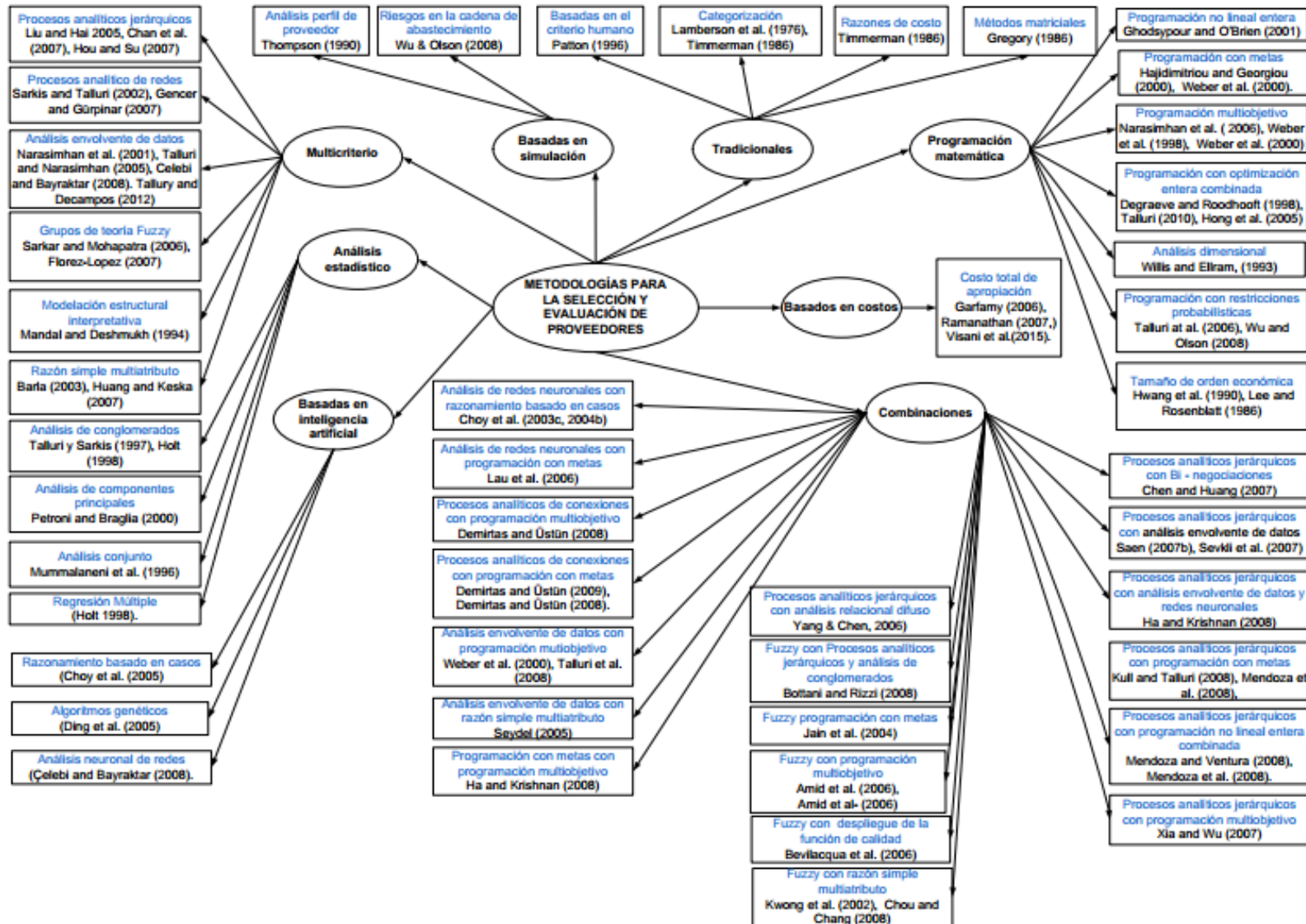
2.3.8 Metodologías que combinan varias técnicas: estas metodologías combinan dos o más de las técnicas anteriores, en este grupo se destacan las integraciones relacionadas en la Tabla 2:

Tabla 2. Metodologías que combinan varias técnicas

Descripción de la integración	Autores
Procesos analíticos jerárquicos con bi-negociaciones	(Chen and Huang 2007)
Procesos analíticos jerárquicos con análisis envolvente de datos	(Saen 2007), (Sevki et al. 2007)
Procesos analíticos jerárquicos con análisis envolvente de datos y redes neuronales artificiales	(Ha and Krishnan 2008)
Procesos analíticos jerárquicos con programación con metas	(Kull and Talluri 2008), (Mendoza, Santiago, and Ravindran 2008)
Procesos analíticos jerárquicos con análisis relacional difuso	(Yang and Chen 2006)
Procesos analíticos jerárquicos con programación no lineal entera mixta	(Mendoza and Ventura 2008)
Procesos analíticos jerárquicos con programación multiobjetivo	(Xia, Wu, Wu, Z. 2007)
Lógica Fuzzy con Procesos analíticos jerárquicos	(Kahraman, Cebeci, and Uluhan 2003), (Chan and Kumar 2007a)
Lógica Fuzzy con Procesos analíticos jerárquicos y análisis de conglomerados	(Bottani and Rizzi 2008)
Lógica Fuzzy con programación con metas	(Jain, Tiwari, and Chan 2004)
Lógica Fuzzy con programación multiobjetivo	(Amid, Ghodsypour, and O'Brien 2006), (Amid, Ghodsypour, and O'Brien 2009)
Lógica Fuzzy con despliegue de la función de calidad	(Bevilacqua, Ciapacca, and Giacchetta 2006)
Lógica Fuzzy con razón simple multiatributo	(Kwong, Ip, and Chan 2002), (Chou and Chang 2008)
Análisis de redes neuronales con razonamiento basado en casos	(Choy, Fan, and Lo 2003b), (Choy, Fan, and Lo 2003a)
Análisis de redes neuronales con programación con metas	(Lau et al. 2006)
Procesos analíticos de redes con programación multiobjetivo	(Demirtas and Üstün 2008)
Procesos analíticos de redes con programación con metas	(Demirtas and Üstün 2009)
Análisis envolvente de datos con programación multiobjetivo	(Weber, Current, and Desai 2000a), (Talluri, Vickery, and Narayanan 2008)
Análisis envolvente de datos con razón simple multiatributo	(Seydel 2005)
Programación con metas con programación multiobjetivo	(Liao and Rittscher 2007)

Finalmente, la Figura 1 sintetiza las metodologías para evaluar y seleccionar proveedores con base en las técnicas empleadas.

Figura 1. Metodologías para evaluar y clasificar proveedores



En una investigación llevada a cabo por Ho et al. (2010), se encontró que de 78 artículos publicados entre el 2000 y el 2008 sobre evaluación y selección de proveedores a través de técnicas que combinan múltiples criterios, el 58.97% (46) utilizaron técnicas individuales y el 41,03% (32) se basaron en metodologías combinadas. Entre las técnicas individuales, el análisis envolvente de datos fue la más utilizada (17.95%). En lo concerniente a las metodologías combinadas, el proceso analítico jerárquico fue la técnica individual que se usó en mayor medida (17,95%) en las combinaciones. Adicionalmente, se observó un crecimiento en el número de estudios que combinan múltiples criterios para evaluar y seleccionar proveedores entre el 2005 y el 2008, con relación al período 2000 – 2004, 47 versus 31.

A partir de lo arriba referenciado, se establece que la utilización de la metodología de análisis envolvente de datos (DEA), es una técnica ampliamente utilizada para abordar la evaluación y clasificación de proveedores, razón por la cual será la metodología para realizar el caso de estudio.

2.4 Dimensiones y atributos para evaluar la gestión de los proveedores

En la sección anterior se evidencia que la decisión para evaluar y escoger los proveedores tiene múltiples dimensiones en función de los atributos que las componen. Weber et al. (1991) en un estudio en el que evaluaron 74 artículos concernientes con evaluación y selección de proveedores entre 1966 y 1986, identificaron que las dimensiones más utilizadas fueron: precio neto (23%), entrega (17%), calidad (15%), instalaciones de producción y capacidad (9%), ubicación geográfica (6%), capacidad técnica (6%), gerencia y organización (4%). Ho et al. (2010) hallaron que las dimensiones más utilizadas fueron: Calidad, entrega, precio/costo, capacidad de producción, servicio, administración, tecnología, investigación y desarrollo, riesgo y seguridad y ambiente. En el presente estudio se revisaron 38 artículos relacionados con evaluación y selección de proveedores con el propósito de identificar las dimensiones más relevantes. Las figuras 2 y 3 ilustran los resultados clasificados por dimensión - atributo y por dimensión – autor, respectivamente.

Figura 2. Revisión literatura por atributo y modelo

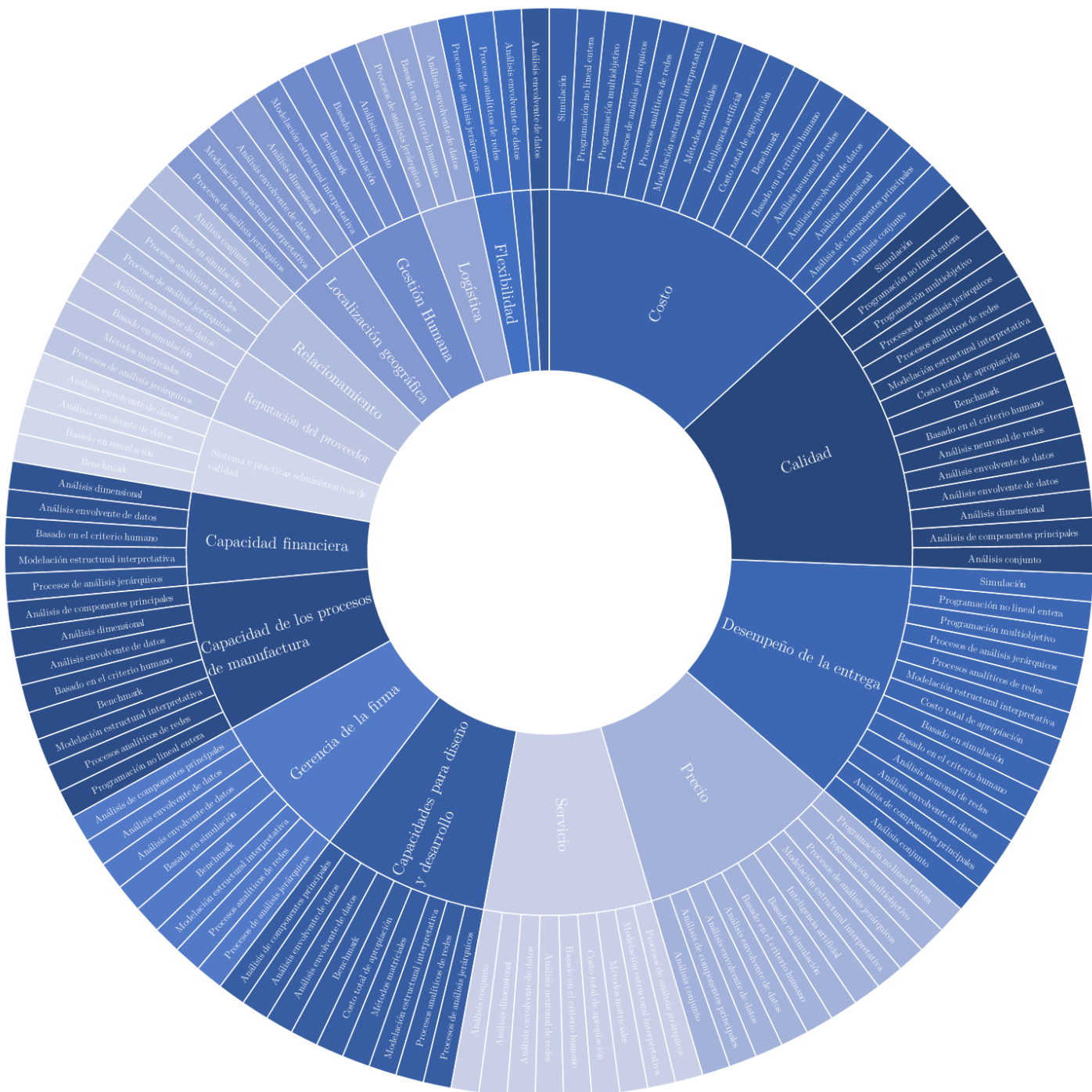
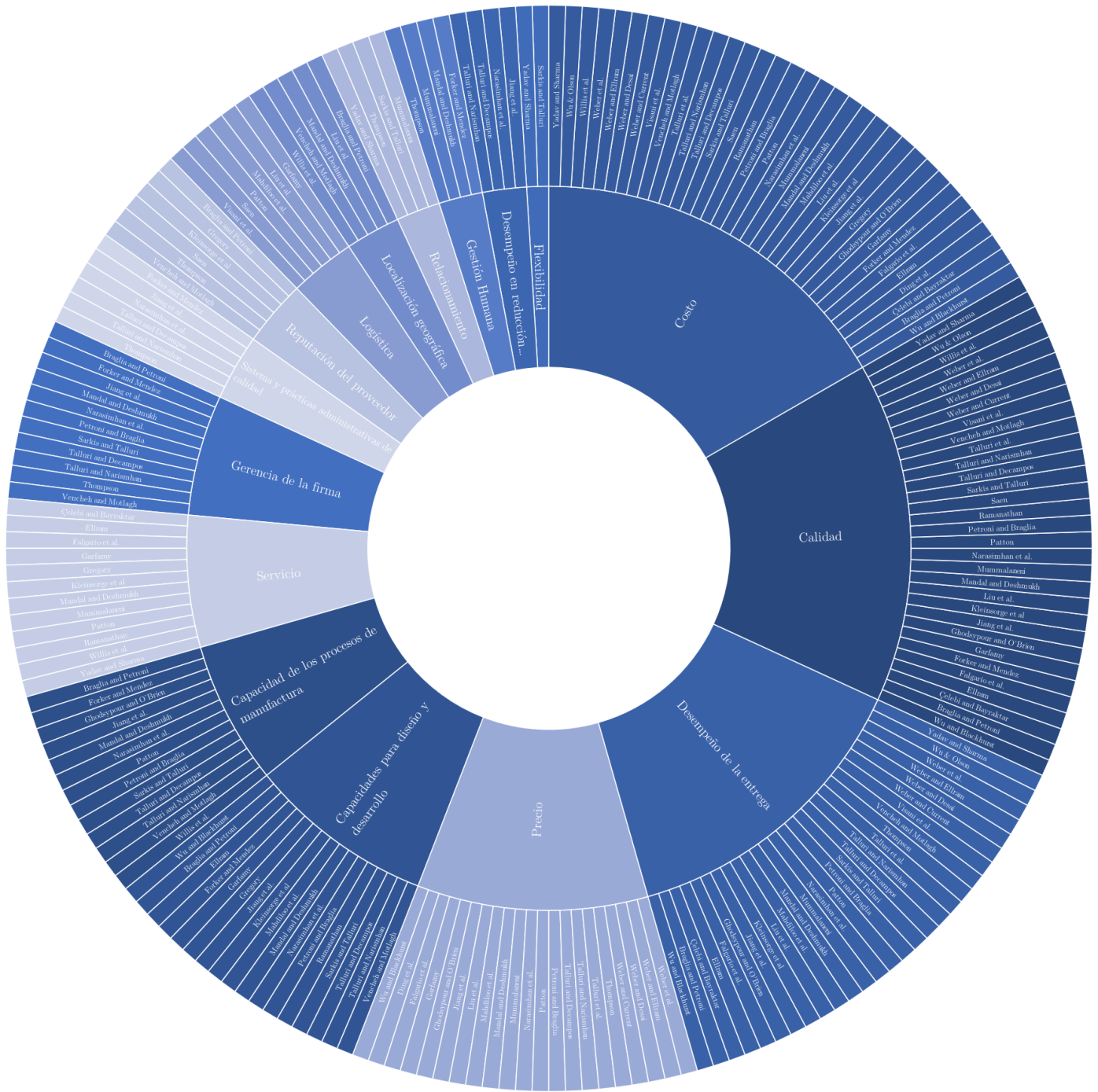
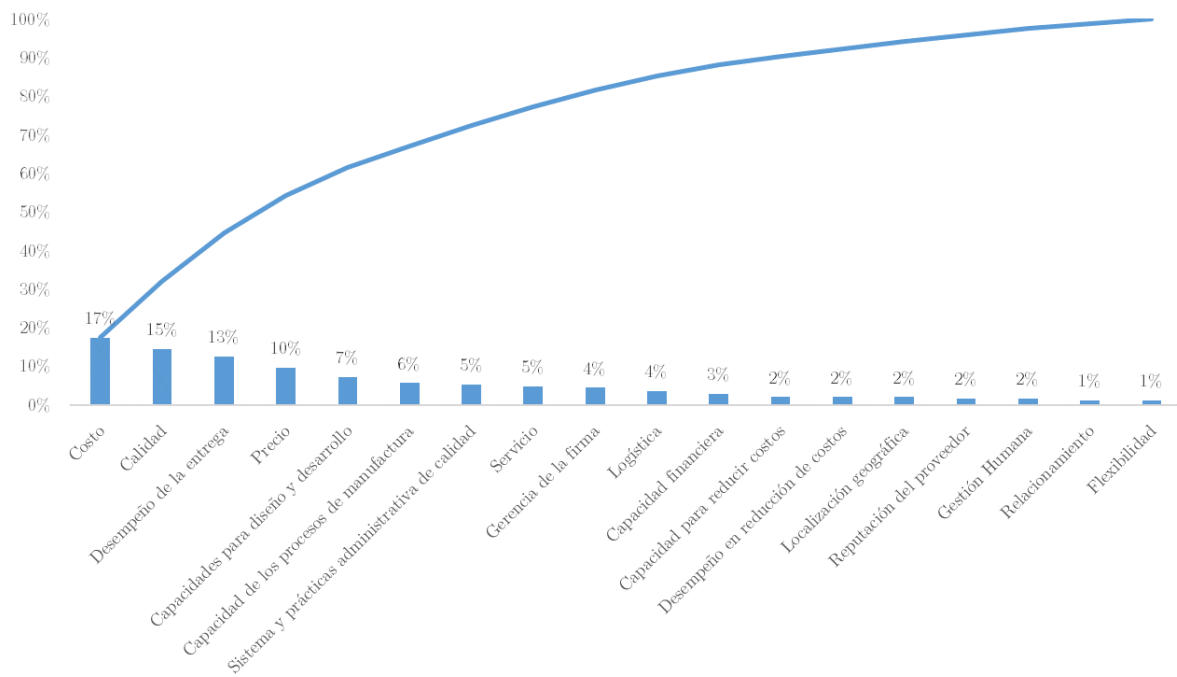


Figura 3. Revisión literatura por atributo y autor



De acuerdo a lo observado en la Figura 4, el 82% del total de las dimensiones utilizadas fue conformado por: Costo (17%), calidad (15%), desempeño de la entrega (13%), precio (10%), capacidades para diseño y desarrollo (7%), capacidad de los procesos de manufactura (6%), sistemas y prácticas administrativas de calidad (6%), servicio (5%) y gerencia de la firma (4%).

Figura 4. Acumulado de la participación de cada dimensión



A partir de la revisión de la literatura se identificaron las dimensiones y los atributos que las definen, los cuales se presentan abajo incluyendo una clasificación según sea la naturaleza cuantitativa o cualitativa del atributo:

Costo

Cuantitativos

- Costo Inventario
- Costo de producción
- Costo por paros en la línea de producción
- Costo de ordenar
- Penalizaciones por ventas perdidas
- Costo de recepción
- Costo de despacho
- Costo de calidad
- Costo de garantías
- Costo de inspección
- Costo de reprocesos

Calidad

Cualitativos

- Cumplimiento de los estándares mínimos y requerimientos
- Asistencia del proveedor en la reducción de costos de calidad
- Suministro de copias de los registros de ensayo e inspección de resultados en los procesos y los productos
- Gestión rápida y a satisfacción de quejas y problemas de calidad
- Percepción de calidad.
- Eliminación de inspecciones a razón de la implementación de los programas de administración de calidad

Cuantitativos

- Tasa de rechazo: $(\text{und. rechazadas}/\text{und. totales}) \times 100$
- Devoluciones de producto final con trazabilidad hasta el proveedor
- Ideas sugeridas por el proveedor incorporadas

Desempeño de la entrega

Cualitativos

- Características del material de empaque
- Sistema para seguimiento a la entrega
- Suministro de información por adelantado respecto a los despachos

Cuantitativos

- Entregas completas
- Cumplimiento de las fechas de entrega

Precio

Cualitativos

- El precio en el último año es aceptable
- Conocimiento de la estructura de precios del proveedor: estructura de costos, elementos para el precio, política de factor de utilidad

Cuantitativos

- Precio por unidad: puede ser comparado con un valor de referencia de mercado y ponderado por la participación de cada insumo o materia prima respecto al total
- Descuento

Capacidades para diseño y desarrollo

Cualitativos

- Estudios para evaluar calidad, seguridad y estrategias de reducción de costo
- Experiencia en la inclusión de clientes en las primeras etapas del diseño
- Equipos multidisciplinarios para el diseño y el desarrollo

- Experiencia interna en diseño asistido por computador
- Nivel de actualización de los sistemas para diseño asistido por computador
- Velocidad para el desarrollo de proveedores

Cuantitativos

- Alianzas para el desarrollo de nuevos productos
- Porcentaje en inversión para diseño y desarrollo respecto a las ventas
- Número de personas técnicas trabajando para diseño y desarrollo

Capacidad de los procesos de manufactura

Cualitativos

- Instrucciones y estándares para los procesos y los productos
- Inspecciones y ensayos del producto en el proceso de producción
- Los operadores tienen la autoridad para detener el proceso cuando los defectos ocurren
- Utilización de métodos estadísticos para controlar el proceso
- Medición de capacidad de proceso en intervalos regulares
- Experiencia en entregas justo a tiempo
- Capacidades regionales y globales de suministro
- Evaluación de la capacidad futura requerida
- Estado de la infraestructura de las instalaciones

Cuantitativos

- Capacidad utilizada
- Mínima capacidad económica
- Relación entre la capacidad del proveedor y el consumo de la compañía: medida en porcentaje.

Sistema y prácticas administrativas de calidad

Cualitativos

- Existencia de una política que dirija el plan de calidad
- El director, jefe o coordinador de calidad reporta directamente a la gerencia general
- El sistema se enfoca en la prevención de defectos
- Cumplimiento de los requisitos del programa de calidad
- Existencia de un programa para capacitar a los proveedores
- Existencia de fichas técnicas para los materiales comprados
- Planes de muestreo, métodos de inspección
- Metas de mejora para los productos y servicios
- Programas de mejoramiento continuo
- Diseño de experimentos para optimizar parámetros
- Lista de proveedores aprobada
- Los documentos esenciales están disponibles en las áreas de trabajo y puntos de inspección
- Auditoría a la implementación de las acciones correctivas
- Las auditorías internas incluyen procesos, productos y servicios
- Verificación de la ejecución de las auditorías, conforme a los procedimientos

Cuantitativos

- Certificaciones
- Indicadores para la gestión de los proveedores
- Número de auditorías internas para validar el cumplimiento de los procesos

Servicio

Cualitativos

- Soporte técnico
- Política para garantías y reclamos
- Intercambio de información

Capacidad financiera

Cuantitativos

- Solidez (endeudamiento): $(\text{total pasivos} / \text{total activos}) * 100$.
- Liquidez: $((\text{Activos corrientes menos} - \text{inventarios}) / \text{pasivos corrientes}) * 100$.
- Margen Ebitda: $(\text{Ebitda} / \text{ventas o ingresos}) * 100$. (Ebitda: por sus siglas en inglés: *earnings before interests, taxes, depreciations and amortizations*)

Localización geográfica

Cuantitativo

- Distancia a las instalaciones de la compañía

Desempeño en reducción de costos

Cuantitativo

- Logro del objetivo de reducción de costo en la compañía

Capacidad para reducir costos

Cualitativos

- Existencia de un sistema para el análisis de todos los elementos del costo
- Sistema para estimar las razones estándares de mano de obra, material y supervisión
- Número de programas de reducción de costos con los clientes
- Reportes mensuales de consumo de materiales
- Programas permanentes para la mejora de los costos

Cuantitativos

- Logro del objetivo de reducción de costos en la propia compañía (%)
- Número de programas de reducción de costos con los clientes

Gestión humana

Cualitativos

- Evaluación de desempeño del personal
- Política para resolución de conflictos

Cuantitativos

- Relaciones entre los empleados: clima laboral
- Programa de entrenamiento para empleados: (horas capacitación por empleado)
- Indicadores para medir la satisfacción de los empleados
- Índices de accidentalidad: rotación, ausentismo, quejas

Reputación del proveedor

Cuantitativos

- Cantidad (monto) de negocios realizados en el pasado con el proveedor
- Tiempo durante el cual se ha realizado negocios con el proveedor

Relacionamiento

Cualitativos

- Relaciones de largo plazo
- Cercanía en la relación
- Apertura (actitud hacia el comprador) en la comunicación

Flexibilidad

Cualitativos

- Habilidad para responder a cambios de la demanda
- Capacidad para modificar la mezcla de productos ofrecida

METODOLOGÍA

Esta sección describe cada uno de las etapas seguidas para la evaluación y clasificación de los proveedores en el caso de estudio. Inicialmente se establecen las dimensiones y atributos utilizados. Posteriormente, se realiza un análisis exploratorio de dichos datos, aquí se incluye un primer intento de clasificación usando escalamiento multidimensional. Seguidamente se describen los diferentes elementos de la implementación de DEA en este contexto, (i) la elección de las entradas y salidas; (ii) la especificación de los modelos DEA utilizados, con énfasis especial en el tratamiento de los atributos ordinales y los índices de clasificación derivados a partir de ellos; (iii) y finalmente la clasificación de los proveedores con base en los valores de dichos índices.

3.1 Selección de las dimensiones y los atributos

La compañía ensambladora clasifica los proveedores según el tipo de línea de producción y el tipo de abastecimiento, a saber:

Por tipo de línea de producción:

- Partes metálicas: compuesto por los proveedores de metalmecánica, aluminio y amortiguadores
- Componentes de plástico y caucho
- Ensamblajes: sillines, espejos, sistemas eléctricos
- Impresores: calcomanías y manuales

Con base en el tipo de abastecimiento:

- Justo a tiempo (JAT)
- Producción en las instalaciones de la compañía ensambladora: "inhouse"
- Semanal
- Mensual

Si bien en la revisión de la literatura se identificaron 18 dimensiones para evaluar la gestión de los proveedores, con el propósito de asegurar la homogeneidad de los mismos solo se utilizaron los indicadores puestos a disposición por la compañía ensambladora, en los cuales se tenían mediciones para todos los proveedores y evitar así recurrir a técnicas de imputación que pudieran inducir dudas sobre los resultados. Los indicadores disponibles se agregaron en siete dimensiones con sus respectivos atributos, a saber:

a. Flexibilidad:

- Tiempo (días) para el procesamiento de un pedido no planeado
- Tiempo (días) de procesamiento del proveedor para pedidos no planeados
- Tiempo (días) transporte desde las instalaciones del proveedor hasta la empresa
- Tamaño de lote (unidades): el mínimo lote que el proveedor procesa

b. Logística transaccional:

- Número de referencias que el proveedor entregó en el 2015
- Total de órdenes de compra generadas al proveedor durante el 2015
- Número de líneas totales registradas en las órdenes de compra
- Total de entregas realizadas durante el 2015
- Total de piezas entregadas por el proveedor durante el 2015

c. Calidad:

- Porcentaje de lotes rechazados en inspección durante la recepción
- Porcentaje de partes rechazadas en la inspección final
- Porcentaje de devoluciones en inventario y planta de ensamble
- Porcentaje de devoluciones de mercado
- Calificación concerniente a la solución de problemas (reclamos de calidad)
- Calificación de la entrega a tiempo de garantías devolución en inspección recepción

d. Gestión ambiental: calificación por cumplimiento de los requerimientos ambientales exigidos por la empresa.

e. Precio: calificación del desempeño del proveedor en la gestión del precio, con base en el porcentaje de incremento o costo de importación para partes nuevas.

f. Desempeño de la entrega: calificación con base en el porcentaje de cumplimiento de las fechas de entregas según los términos acordados.

g. Capacidad para diseño y desarrollo: calificación como resultado del cumplimiento de las entregas para preproducción y desarrollo de prototipos.

La compañía ensambladora no desagrega en atributos individuales las últimas cuatro dimensiones, debido a ello el resultado de la medición de la dimensión representa el indicador directo de desempeño.

La medición de los atributos “solución de problemas (reclamos de calidad)”, “entrega a tiempo de garantías devolución en inspección recepción”, “gestión ambiental”, “precio” y “capacidad para diseño y desarrollo” corresponde a escalas ordinales, como sigue:

Solución de problemas (reclamos de calidad):

7	No hay reclamos de calidad en este periodo
5	Los reclamos reportados son solucionados y/o diligenciados en forma rápida y definitiva
3	Los reclamos reportados son solucionados y/o diligenciados en forma definitiva, aunque un poco demorado
1	Existen algunos reclamos sin solución definitiva y sin diligenciar y/o las soluciones no son correctas

Entrega a tiempo de garantías devolución en inspección recepción

5	La devolución de piezas en garantía se cumple dentro del tiempo establecido (2 días después de recibida la mercancía)
0	Hay retrasos en la devolución de piezas en garantía (superior a 2 días)

Gestión ambiental

10	Cumple con los tres requerimientos	REQUERIMIENTOS: 1. Existe un sistema de gestión ambiental o está en proceso. 2. No utiliza alguna (s) de las sustancias ambientalmente prohibidas por YMC. En caso de utilizar alguna (s) de las sustancias, se tiene un plan de sustitución. 3. La disposición final de los residuos peligrosos es la adecuada.
5	Cumple con dos de los requerimientos	
0	Cumple con uno o ningún requerimiento	

Precio

20	Proveedores que no generaron incrementos
16	Proveedores que se encuentra dentro de la meta anual fijada por el proveedor: 3,66%
10	Proveedores por encima del promedio anual de incrementos
1	No se llegó a acuerdos de negociación

Capacidad para diseño y desarrollo

20	Nivel de cumplimiento en entregas es del 98% o superior
17	Nivel de cumplimiento en entregas esta entre 95.1% y 97.9%
13	Nivel de cumplimiento en entregas esta entre 85.0% y 95.0%
8	Nivel de cumplimiento en entregas esta entre 70% y 84.9%
2	Nivel de cumplimiento en entregas es menor o igual al 69.9%

En la Tabla 3 se observa la calificación de los 21 atributos distribuidos en siete dimensiones para cada proveedor, la línea de producción a la que pertenece y el tipo de abastecimiento bajo el cual suministran las piezas. Con el propósito de asegurar la confidencialidad de los proveedores sus nombres reales fueron sustituidos por un carácter alfabético al final de la palabra proveedor.

A continuación, se presentan los argumentos que llevaron a excluir algunos atributos en el modelo para evaluar y clasificar a los proveedores. La dimensión para evaluar la capacidad para diseño y desarrollo no se incorporó dentro de la metodología, debido a que no todos los proveedores participan en el desarrollo para nuevos prototipos, y no todos los que participan lo hicieron continuamente durante todos los trimestres del año 2015, de tal forma que la inclusión de la misma haría que los proveedores no fueran homogéneos en sus atributos, lo cual podría alterar los resultados obtenidos. Los tres atributos que aluden a tiempo (días) de la dimensión "flexibilidad" se agruparon en uno solo denominado "tiempo atención requerimientos no planeados", el cual corresponde a la suma de los tres antes mencionados.

3.2 Análisis exploratorio de los datos

En la Tabla 4 se relacionan la media, la desviación estándar, los valores máximos y mínimos y el coeficiente de variación (desviación estándar dividida entre la media) de los 16 atributos seleccionados hasta este punto. Las calificaciones de los atributos “entrega a tiempo de garantías devolución en inspección recepción” y “precio” arrojan coeficientes de variación del 4.4% y del 6.7% respectivamente, por lo que el poder de discriminación de estas variables se considera reducido y en razón de ello se opta por no considerarlas en el caso de estudio.

La tabla 5 muestra los resultados de las correlaciones entre las 14 variables resultantes hasta este momento. Las correlaciones del atributo “Referencias” con los atributos “Número de líneas” y “Número de entregas” son del 98,6% y del 97,6% respectivamente; la correlación entre los atributos “Número de líneas” y “Número de entregas” es del 97,3%. Con base en estas cifras se decidió conservar de los tres atributos anteriores, solo el que alude a las “Referencias”.

Finalmente, la Tabla 6 presenta los atributos y los valores que se utilizaron para la evaluación y clasificación de los proveedores. A continuación se relacionan:

1. Porcentaje de lotes rechazados en inspección en recepción
2. Porcentaje de partes rechazadas en inspección final
3. Porcentaje de devoluciones en inventario más planta de ensamble
4. Porcentaje de devoluciones en mercado
5. Solución de problemas (reclamos de calidad)
6. Aspecto ambiental
7. Porcentaje de cumplimiento en entregas para producción
8. Tiempo atención requerimientos no planeados
9. Tamaño de lote (unidades)
10. Número de referencias suministradas por el proveedor
11. Total órdenes de compra
12. Total piezas recibidas

Tabla 3. Dimensiones y atributos iniciales de los proveedores

Nombre Proveedor	Línea producción	Tipo abastecimiento	Calidad						Ambiental	Precio	Desempeño entrega	Flexibilidad (atención requerimientos no planeados)					Logística					Capacidad para diseño y desarrollo		
			Porcentaje de lotes rechazados en inspección en recepción	Porcentaje de partes rechazadas en inspección final	Porcentaje de devoluciones en inventario más planta de ensamble	Porcentaje de devoluciones de mercado	Solución de problemas (reclamos de calidad)	Entrega a tiempo de garantías devolución en inspección recepción				Aspecto ambiental	Precio	Porcentaje de cumplimiento en entregas para producción	Pedido (días)	Producción (días)	Transporte (días)	tiempo atención requerimientos no planeados	Tamaño de lote (unidades)	Referencias	Total órdenes de compra	Número de líneas	Número de entregas	Total piezas recibidas
Proveedor A	Partes metálicas	JAT	0	0.04225	0.1525	0.1525	3.5	8	10	15.5	1	8	1	1	20	180	5	16	488	58	82173	9.25	Si	
Proveedor B	Ensamblados	JAT	0	0	0	0.1225	8	8	10	20	1	2	6	1	9	120	5	15	276	57	29564	10	Si-No	
Proveedor C	Partes metálicas	Mensual	0	0.02725	0.635	0.0095	6	8	10	20	0.835	2	2	2	6	8	21	105	1080	274	398442	10	Si	
Proveedor D	Partes metálicas	Mensual	0.065	0.0005	0.4025	0.00054467	5.2	8	10	20	0.9175	4	6	1	11	1000	31	61	1104	590	418025	10	Si-No	
Proveedor E	Partes metálicas	Mensual	0.4675	0	1.0425	0.00325	4.5	8	10	18	0.94125	7	6	2	15	108	17	98	721	474	152806		No	
Proveedor F	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.02	0	7.2	8	0	20	0.8725	4	4	2	10	500	2	33	58	56	31987	10	Si-No	
Proveedor G	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.0125	0	7.2	8	6.25	16.5	0.7475	8	2	0	10	1200	2	15	17	16	13785	10	Si	
Proveedor H	Partes metálicas	Mensual	3.6375	0	0.0425	0	8	8	5	20	0.9175	12	1	0	24	300	7	16	84	29	18550	10	Si-No	
Proveedor I	Componentes plástico y caucho	JAT	0	0	0.1625	0	8	8	8.75	20	0.945	30	3	0	1	61	9500	21	40	569	206	201406	10	Si
Proveedor J	Componentes plástico y caucho	Inhouse	0	0	0.008027139	0.00723904	6.5	8	7.5	20	0.9325	0	0	0	1	1	199	20	17018	2962	1307007	10	Si	
Proveedor K	Partes metálicas	Semanal	0.1225	0.0035	0.305	0.00425	5.7	8	10	20	1	3	3	1	7	400	22	339	536	434	116242	9.25	Si	

Nombre Proveedor	Línea producción	Tipo abastecimiento	Porcentaje de lotes rechazados en inspección en recepción	Porcentaje de partes rechazadas en inspección final	Porcentaje de devoluciones en inventario más planta de ensamble	Porcentaje de devoluciones de mercado	Solución de problemas (reclamos de calidad)	Entrega a tiempo de garantías devolución en inspección recepción	Aspecto ambiental	Precio	Porcentaje de cumplimiento en entregas para producción	Pedido (días)	Producción (días)	Transporte (días)	tiempo atención requerimientos no planeados	Tamaño de lote (unidades)	Referencias	Total órdenes de compra	Número de líneas	Número de entregas	Total piezas recibidas	Cumplimiento en entregas para preproducción y/o desarrollo de prototipos	Desarrollo prototipos
Proveedor L	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.0475	0.0065	7.25	8	10	20	0.975	5	9	1	15	1200	3	101	197	181	63872		No
Proveedor M	Ensamblés	JAT	0	0	0	4.805	5.5	8	7.5	19	1	3	4	0	7	100	3	14	593	77	88535	10	Si
Proveedor N	Componentes plástico y caucho	Mensual	0	0	0.05175	0.00056741	8	8	7.5	20	1	5	5	1	11	15000	15	32	287	63	410912	10	Si
Proveedor O	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.0425	0	6.25	8	1.25	20	0.845	2	5	2	9	500	1	34	37	37	13318		No
Proveedor P	Partes metálicas	Mensual	0	0.001	0.82325	0.00235279	5.5	8	10	18	0.9025	2	3	1	6	100	18	115	676	331	262740	10	Si
Proveedor Q	Componentes plástico y caucho	Mensual	0	0	0.0875	0	8	8	10	18	1	3	9	0	12	1500	2	13	26	13	25952		No
Proveedor R	Ensamblés	Mensual	0	0.00582796	0.01725	0	7.25	6	8.75	16.5	1	15	6	1	22	200	7	129	396	331	86290	10	Si
Proveedor S	Impresores	Mensual	0	0	0	0	8	8	3.75	20	1	1	20	1	22	400	18	75	327	69	148428	10	Si-No
Proveedor T	Impresores	Mensual	0	0	0	0	8	8		20	1	7	3	1	11	1000	1	35	11	11	4070		No
Proveedor U	Partes metálicas	Semanal	0	0.00275	1.02	0.00375	3.5	8	10	20	0.9325	2	18	1	21	120	11	204	837	451	219288	10	Si
Proveedor V	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.05	0.0025	8	8	10	19	1	5	3	1	9	272	10	53	256	154	105422	10	Si-No

Nombre Proveedor	Línea producción	Tipo abastecimiento	Porcentaje de lotes rechazados en inspección en recepción	Porcentaje de partes rechazadas en inspección final	Porcentaje de devoluciones en inventario más planta de ensamble	Porcentaje de devoluciones de mercado	Solución de problemas (reclamos de calidad)	Entrega a tiempo de garantías devolución en inspección recepción	Aspecto ambiental	Precio	Porcentaje de cumplimiento en entregas para producción	Pedido (días)	Producción (días)	Transporte (días)	tiempo atención requerimientos no planeados	Tamaño de lote (unidades)	Referencias	Total órdenes de compra	Número de líneas	Número de entregas	Total piezas recibidas	Cumplimiento en entregas para preproducción y/o desarrollo de prototipos	Desarrollo prototipos
Proveedor X	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.049	0	8	8	5	20	0.7325	5	2	1	8	610	3	46	114	80	49821	10	Si
Proveedor Y	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.01275	0	8	8	10	20	1	15	1/5	1	31	2500	1	14	14	14	46350		No
Proveedor Z	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.49675	0	7.2/5	8	5	20	0.9675	2	1/5	1	18	150	15	59	235	153	172390	10	Si-No
Proveedor AA	Partes metálicas	Semanal	0	0	0.117	0	6.5	8	7.5	18	0.8925	3	6	1	10	600	3	157	270	188	57300	10	Si
Proveedor BB	Ensamblados	Mensual	0	0	0.042	0.6625	7.2/5	8	10	20	0.9575	2	1/2	2	16	5000	2	28	56	28	92755	10	Si-No
Proveedor CC	Componentes plástico y caucho	Mensual	0	0	0.00175	0	8	8	10	20	0.745	1	8	1	10	1000	2	17	32	24	56202		No
Proveedor DD	Componentes plástico y caucho	Mensual	0	0.006	0.496	0.02	3.7/5	8	6.25	19	0.985	7	1	1	9	1000	23	64	900	85	396937	10	Si
Proveedor EE	Partes metálicas	Semanal	0	0	0.87125	0.2295	7.2/5	8	10	18	0.9775	3	1	1	5	360	4	78	166	84	49066	10	Si-No
Proveedor FF	Componentes plástico y caucho	Mensual	0	0	0.1625	0	8	8	2.5	17	0.6225	5	4/8	1	54	2000	2	10	25	13	11198		No

Desarrollo prototipos		Si-No
Cumplimiento en entregas para preproducción y/o desarrollo de prototipos	10	
Total piezas recibidas	51355	
Número de entregas	106	
Número de líneas	123	
Total órdenes de compra	59	
Referencias	6	
Tamaño de lote (unidades)	800	
tiempo atención requerimientos no planeados	17	
Transporte (días)	1	
Producción (días)	1	
Pedido (días)	15	
Porcentaje de cumplimiento en entregas para producción	0.9825	
Precio	20	
Aspecto ambiental	6.25	
Entrega a tiempo de garantías devolución en Inspección recepción	8	8
Solución de problemas (reclamos de calidad)	8	8
Porcentaje de devoluciones de mercado	0	0.25975
Porcentaje de devoluciones en inventario más planta de ensamble	0.008	0.25975
Porcentaje de partes rechazadas en Inspección final	0	0.00475
Porcentaje de lotes rechazados en inspección en recepción	1.0875	0
Tipo abastecimiento	Mensual	JAT
Línea producción	Componentes plástico y caucho	Ensamblés
Nombre Proveedor	Proveedor GG	Proveedor HH

Tabla 4. Coeficiente de variación de los atributos

	Porcentaje de lotes rechazados en inspección en recepción	Porcentaje de partes rechazadas en inspección final	Porcentaje de devoluciones en inventario más planta de ensamblaje	Porcentaje de devoluciones en mercado	Solución de problemas (reclamos de calidad)	Entrega a tiempo de garantías devolución en inspección recepción	Aspecto ambiental	Precio	Cumplimiento en entregas para producción	Tiempo atención requerimientos no planeados	Tamaño de lote (Unidades)	Referencias	Total órdenes de compra	Número de líneas	Número de entregas	Total piezas recibidas
Media	0.0016	0.00003	0.00225	0.0019	6.83	7.94	7.42	19.14	0.93	16	1452	15	64	837	234	157300
Desviación	0.01	0.00009	0.0032	0.01	1.44	0.35	3.12	1.29	0.10	12.61	3024.38	34.11	67.96	2922.51	513.84	241310.89
Mín	0	0	0	0	3.50	6.00	0	15.50	0.62	1	1	1	10	11	11	4070
Máx	0.0364	0.0004	0.0104	0.0481	8	8	10	20	1	61	15000	199	339	17018	2962	1307007
Coefficiente variación	402.44%	302.96%	140.69%	439.64%	21.03%	4.39%	42.08%	6.73%	10.30%	80.89%	208.23%	232.57%	106.29%	349.25%	219.59%	153.41%

Tabla 5. Coeficiente de correlación entre los atributos

	Porcentaje de lotes rechazados en inspección en recepción	Porcentaje de partes rechazadas en inspección final	Porcentaje de devoluciones en inventario más planta de ensamble	Porcentaje de devoluciones en mercado	Solución de problemas (reclam os de calidad)	Aspecto ambiental	Cumplimiento en entregas para producción	tiempo atención requerimientos no planeados	Tamaño de lote (Unidades)	Referencias	Total órdenes de compra	Número de líneas	Número de entregas	Total piezas recibidas
Porcentaje de lotes rechazados en inspección en recepción	1.00	0.10	0.13	-0.19	0.04	0.00	0.08	-0.05	0.13	0.01	-0.11	0.06	-0.01	0.08
Porcentaje de partes rechazadas en inspección final	0.10	1.00	0.38	0.29	0.63	-0.24	-0.10	0.01	0.21	0.03	-0.26	0.04	0.01	-0.06
Porcentaje de devoluciones en inventario más planta de ensamble	0.13	0.38	1.00	-0.06	0.44	-0.37	0.12	-0.17	-0.14	-0.01	-0.51	0.06	-0.06	-0.12
Porcentaje de devoluciones en mercado	-0.19	0.29	-0.06	1.00	0.35	-0.38	-0.34	0.21	0.08	-0.01	0.10	-0.05	0.00	-0.03
Solución de problemas (reclam os de calidad)	0.04	0.63	0.44	0.35	1.00	-0.28	0.07	0.23	0.27	-0.14	-0.40	-0.12	-0.20	-0.27
Aspecto ambiental	0.00	-0.24	-0.37	-0.38	-0.28	1.00	0.19	-0.11	0.06	0.07	0.29	0.05	0.14	0.16
Cumplimiento en entregas para producción	0.08	-0.10	0.12	-0.34	0.07	0.19	1.00	0.05	0.18	-0.15	0.02	-0.18	-0.19	-0.14
tiempo atención requerimientos no planeados	-0.05	0.01	-0.17	0.21	0.23	-0.11	0.05	1.00	0.35	-0.20	-0.16	-0.22	-0.22	-0.23
Tamaño de lote (Unidades)	0.13	0.21	-0.14	0.08	0.27	0.06	0.18	0.35	1.00	-0.05	-0.18	-0.09	-0.13	0.11
Referencias	0.01	0.03	-0.01	-0.01	-0.14	0.07	-0.15	-0.20	-0.05	1.00	-0.01	0.99	0.98	0.94
Total órdenes de compra	-0.11	-0.26	-0.51	0.10	-0.40	0.29	0.02	-0.16	-0.18	-0.01	1.00	-0.07	0.10	0.02
Número de líneas	0.06	0.04	0.06	-0.05	-0.12	0.05	-0.18	-0.22	-0.09	0.99	-0.07	1.00	0.97	0.90
Número de entregas	-0.01	0.01	-0.06	0.00	-0.20	0.14	-0.19	-0.22	-0.13	0.98	0.10	0.97	1.00	0.90
Total piezas recibidas	0.08	-0.06	-0.12	-0.03	-0.27	0.16	-0.14	-0.23	0.11	0.94	0.02	0.90	0.90	1.00

DIMENSIONES														
Nombre Proveedor	Linea producción	Tipo abastecimiento	Calidad					Ambiental	Desempeño de la entrega	Flexibilidad		Logística		
			Porcentaje de lotes rechazados en inspección en recepción	Porcentaje de partes rechazadas en inspección final	Porcentaje de devoluciones en inventario más planta de ensamble	Porcentaje de devoluciones de mercado	Solución de problemas (reclamos de calidad)			Aspecto ambiental	Porcentaje de cumplimiento en entregas para producción	Tiempo atención requerimientos no planeados	Tamaño de lote(unidades)	Referencias
Proveedor A	Partes metálicas	JAT	0	0.04225	0.1525	0.1525	3.5	10	1	20	180	5	16	82173
Proveedor B	Ensamblados	JAT	0	0	0	0.1225	8	10	1	9	120	5	15	29564
Proveedor C	Partes metálicas	Mensual	0	0.02725	0.635	0.0095	6	10	0.835	6	8	21	105	398442
Proveedor D	Partes metálicas	Mensual	0.065	0.0005	0.4025	0.0005447	5.25	10	0.9175	11	1000	31	61	418025
Proveedor E	Partes metálicas	Mensual	0.4675	0	1.0425	0.00325	4.5	10	0.94125	15	108	17	98	152806
Proveedor F	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.02	0	7.25	0	0.8725	10	500	2	33	31987
Proveedor G	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.0125	0	7.25	6.25	0.7475	10	1200	2	15	13785
Proveedor H	Partes metálicas	Mensual	3.6375	0	0.0425	0	8	5	0.9175	24	300	7	16	18550
Proveedor I	Componentes plástico y caucho	JAT	0	0	0.1625	0	8	8.75	0.945	61	9500	21	40	201406
Proveedor J	Componentes plástico y caucho	<i>Inhouse</i>	0	0	0.008027139	0.007239	6.5	7.5	0.9325	1	1	199	20	1307007
Proveedor K	Partes metálicas	Semanal	0.1225	0.0035	0.305	0.00425	5.75	10	1	7	400	22	339	116242
Proveedor L	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.0475	0.0065	7.25	10	0.975	15	1200	3	101	63872
Proveedor M	Ensamblados	JAT	0	0	0	4.805	5.5	7.5	1	7	100	3	14	88535
Proveedor N	Componentes plástico y caucho	Mensual	0	0	0.05175	0.0005674	8	7.5	1	11	15000	15	32	410912

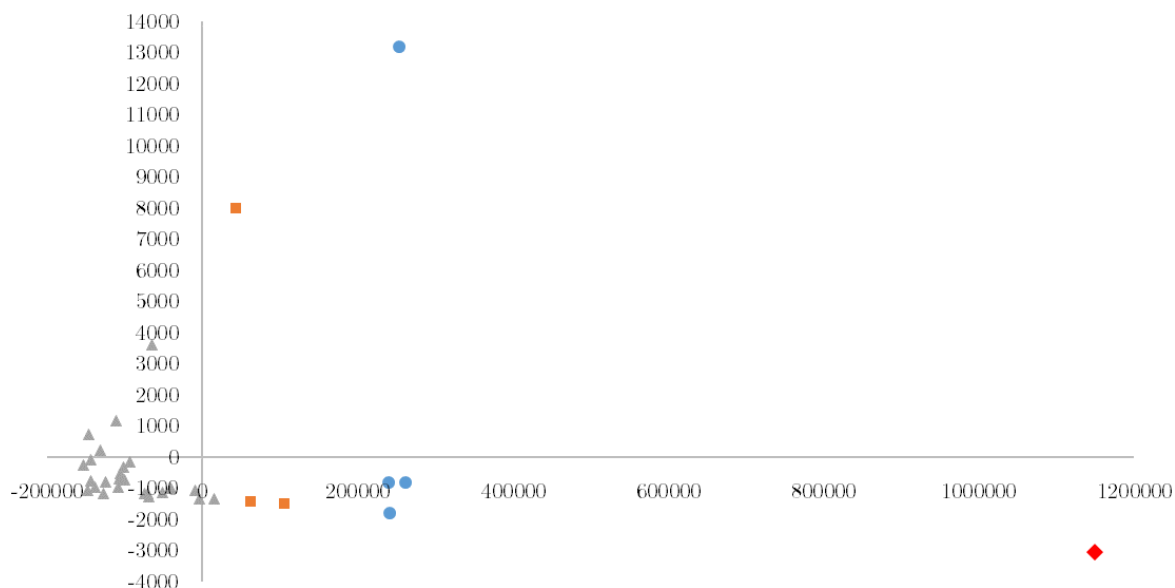
Nombre Proveedor	Línea producción	Tipo abastecimiento	Porcentaje de lotes rechazados en inspección en recepción	Porcentaje de partes rechazadas en inspección final	Porcentaje de devoluciones en inventario más planta de ensamble	Porcentaje de devoluciones de mercado	Solución de problemas (reclamos de calidad)	Aspecto ambiental	Porcentaje de cumplimiento en entregas para producción	Tiempo atención requerimientos no planeados	Tamaño de lote(unidades)	Referencias	Total órdenes de compra	Total piezas recibidas
Proveedor O	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.0425	0	6.25	1.25	0.845	9	500	1	34	13318
Proveedor P	Partes metálicas	Mensual	0	0.001	0.82325	0.0023528	5.5	10	0.9025	6	100	18	115	262740
Proveedor Q	Componentes plástico y caucho	Mensual	0	0	0.0875	0	8	10	1	12	1500	2	13	25952
Proveedor R	Ensamblés	Mensual	0	0.005827958	0.01725	0	7.25	8.75	1	22	200	7	129	86290
Proveedor S	Impresores	Mensual	0	0	0	0	8	3.75	1	22	400	18	75	148428
Proveedor T	Impresores	Mensual	0	0	0	0	8	0	1	11	1000	1	35	4070
Proveedor U	Partes metálicas	Semanal	0	0.00275	1.02	0.00375	3.5	10	0.9325	21	120	11	204	219288
Proveedor V	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.05	0.0025	8	10	1	9	272	10	53	105422
Proveedor X	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.049	0	8	5	0.7325	8	610	3	46	49821
Proveedor Y	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.01275	0	8	10	1	31	2500	1	14	46350
Proveedor Z	Partes metálicas	Mensual	0	0	0.49675	0	7.25	5	0.9675	18	150	15	59	172390
Proveedor AA	Partes metálicas	Semanal	0	0	0.117	0	6.5	7.5	0.8925	10	600	3	157	57300
Proveedor BB	Ensamblés	Mensual	0	0	0.042	0.6625	7.25	10	0.9575	16	5000	2	28	92755
Proveedor CC	Componentes plástico y caucho	Mensual	0	0	0.00175	0	8	10	0.745	10	1000	2	17	56202

Nombre Proveedor	Línea producción	Tipo abastecimiento	Porcentaje de lotes rechazados en inspección en recepción	Porcentaje de partes rechazadas en inspección final	Porcentaje de devoluciones en inventario más planta de ensamble	Porcentaje de devoluciones de mercado	Solución de problemas (reclamos de calidad)	Aspecto ambiental	Porcentaje de cumplimiento en entregas para producción	Tiempo atención requerimientos no planeados	Tamaño de lote(unidades)	Referencias	Total órdenes de compra	Total piezas recibidas
Proveedor DD	Componentes plástico y caucho	Mensual	0	0.006	0.496	0.02	3.75	6.25	0.985	9	1000	23	64	396937
Proveedor EE	Partes metálicas	Semanal	0	0	0.87125	0.2295	7.25	10	0.9775	5	360	4	78	49066
Proveedor FF	Componentes plástico y caucho	Mensual	0	0	0.1625	0	8	2.5	0.6225	54	2000	2	10	11198
Proveedor GG	Componentes plástico y caucho	Mensual	1.0875	0	0.008	0	8	6.25	0.9825	17	800	6	59	51355
Proveedor HH	Ensamblados	JAT	0	0.00475	0.25975	0.25975	8	6.25	0.98	19	200	2	15	8722

3.3 Escalamiento multidimensional

Tomando con referencia a Monroy (2002) se realizó un escalamiento multidimensional, con el propósito de verificar si los datos de los 12 atributos finales clasifican los proveedores bajo alguna forma de agrupación, de la cual se pueda inferir si existe similitud entre ellos. Los resultados de las nuevas dimensiones para los 33 proveedores se representaron en un plano cartesiano, y posteriormente se realizó un análisis de conglomerados para agrupar los proveedores en cuatro categorías. La Figura 5 representa el ejercicio realizado.

Figura 5. Escalamiento multidimensional



En la gráfica se observan los cuatro conglomerados diferentes, sin embargo, en uno de ellos se agruparon 25 proveedores, en otro solo uno y en los dos restantes se visualizan proveedores muy distantes entre el mismo grupo al que fueron asociados. Lo anterior aunado a los 12 atributos que posee cada proveedor, no posibilita realizar inferencias sobre las posibles similitudes entre los proveedores de cada conglomerado. En la Tabla 7 se presenta la clasificación realizada. Este resultado poco satisfactorio motiva adicionalmente, el uso de una herramienta diferente para realizar la clasificación de los proveedores, que en este caso es DEA.

Tabla 7. Conglomerados a partir de los datos iniciales

C onglom erado	P roveedor
1	P roveedor C
	P roveedor D
	P roveedor N
	P roveedor D D
2	P roveedor I
	P roveedor P
	P roveedor U
3	P roveedor A
	P roveedor B
	P roveedor E
	P roveedor F
	P roveedor G
	P roveedor H
	P roveedor K
	P roveedor L
	P roveedor M
	P roveedor O
	P roveedor Q
	P roveedor R
	P roveedor S
	P roveedor T
	P roveedor V
	P roveedor X
	P roveedor Y
	P roveedor Z
	P roveedor A A
	P roveedor B B
P roveedor C C	
P roveedor E E	
P roveedor F F	
P roveedor G G	
P roveedor H H	
4	P roveedor J

3.4 Clasificación de los atributos en entradas y salidas

Para utilizar análisis envolvente de datos (DEA), es necesario clasificar los atributos en entradas y salidas, dicha clasificación se realizó con base en la concepción de eficiencia, a través de la cual se busca maximizar la producción total a partir de la relación entre las salidas y las entradas. Las entradas se definieron como los atributos que representan costos, esfuerzos o uso de recursos por parte del proveedor, y las salidas aquellos que reflejan los resultados o producción que se puede generar con esas entradas. Con base en lo anterior, la clasificación realizada de los atributos en entradas y salidas, evidencia que es deseable generar la mayor cantidad de salidas utilizando la menor cantidad de entradas.

Los atributos utilizados como entradas son:

1. Tiempo atención requerimientos no planeados
2. Tamaño de lote (unidades)
3. Número de referencias suministradas por el proveedor
4. Total de órdenes de compra

Los atributos considerados como salidas son:

1. Porcentaje de lotes rechazados en inspección en recepción
2. Porcentaje de partes rechazadas en inspección final
3. Porcentaje de devoluciones en inventario más planta de ensamble
4. Porcentaje de devoluciones en mercado
5. Solución de problemas (reclamos de calidad)
6. Aspecto ambiental
7. Cumplimiento en entregas para producción
8. Total de piezas recibidas

Sobre los atributos 1 y 2 de las salidas es importante decir que por la concepción de los mismos y habiéndolos considerado salidas, se hace necesario modificarlos, de tal manera que se sustituyeron las frases “cantidad de lotes rechazados” por “porcentaje de aceptación”, además de transformarse en porcentaje y restándolo a la unidad. De este punto en adelante, los atributos se denominan:

1. Porcentaje de aceptación en inspección en recepción
2. Porcentaje de aceptación en inspección final

Con relación a los atributos 3 y 4 de las salidas se llevó a cabo un tratamiento similar, transformando las frases “cantidad de devoluciones” por “porcentaje de cumplimiento de calidad”, además de darle el mismo tratamiento a los datos que en los atributos 1 y 2. Las denominaciones a usar en adelante serán:

3. Porcentaje de cumplimiento de calidad en inventario más planta de ensamble
4. Porcentaje de cumplimiento de calidad en mercado

3.5 Selección del modelo

Con base en la definición de las entradas y las salidas, se estableció la orientación del modelo hacia las entradas, lo cual significa que para un nivel dado de salidas, los proveedores que son eficientes requieren menor cantidad de entradas. Los primeros dos atributos clasificados como entradas determinan la flexibilidad de los proveedores y los restantes representan los recursos administrativos a través de los cuales éstos inician la gestión.

El modelo matemático se estructuró en tres fases para calcular:

(i) Eficiencias técnicas; (ii) Ponderadores para hallar la eficiencia cruzada; (iii) Eficiencias cruzadas.

3.5.1 Fase 1. Eficiencias técnicas: basados en Charnes et al. (1978), se calcularon las eficiencias de cada unidad de decisión independiente (DMU, por sus siglas en inglés) con sus ponderadores óptimos utilizando un modelo CCR orientado a entradas, el cual es un procedimiento de programación matemática para evaluar la eficiencia relativa entre múltiples DMU's (para el caso de estudio, proveedores), las cuales incluyen varias entradas y varias salidas. Las nomenclaturas usadas en los modelos matemáticos son las siguientes:

θ_o	Eficiencia operacional de la de DMU que está siendo evaluada
$k = 1, \dots, K$	Grupo de DMUs (proveedores)
$r = 1, \dots, R$	Conjunto de salidas
$i = 1, \dots, I$	Conjunto de entradas
I	Número de entradas
R	Número de salidas
x_{io}	i-ésima entrada de la DMU _o
y_{ro}	i-ésima salida de la DMU _o
v_i	Ponderador para la i-ésima entrada
u_r	Ponderador para la i-ésima salida
x_{ik}	i-ésima entrada de la DMU _k .
y_{rk}	i-ésima salida de la DMU _k .
E_{ok}	Refleja la eficiencia relativa de la DMU _k con los ponderadores óptimos para las entradas y salidas de la DMU _o .
E_{oo}	Corresponde a la eficiencia de la DMU _o calculada con sus ponderadores óptimos.
h	Función objetivo de la eficiencia cruzada
\bar{E}_{sk}	Eficiencia cruzada evaluada por los pares
M_{sk}	Índice de independencia
\bar{E}_{ks}	Eficiencia cruzada de los pares evaluados
D_k	Índice de diversidad
n	Número de DMU's (proveedores)

El conjunto de ecuaciones (1) presenta el modelo matemático para la fase 1:

$$\begin{aligned} & \text{Maximizar } E_{oo} = \theta_o = \sum_{r=1}^R u_r y_{rk} \\ & \text{Sujeto a:} \\ & \sum_{i=1}^I v_i x_{i0} = 1, \quad (1) \\ & \sum_{r=1}^R u_r y_{rk} \leq \sum_{i=1}^I v_i x_{ik} \quad k = 1, \dots, n \\ & u_r \geq 0 \quad r = 1, \dots, R \\ & v_i \geq 0; \quad i = 1, \dots, I \end{aligned}$$

3.5.2 Fase 2. Ponderadores: con el objetivo de evitar que existan DMU's (proveedores) muy bien calificadas (eficiencia alta), por efecto de asignar valores muy altos (o muy bajos, cero por ejemplo) a los ponderadores en algunas entradas o salidas en las cuales un proveedor tenga un desempeño superior (o inferior) a los otros, se utilizó el modelo de análisis envolvente de datos con eficiencia cruzada, introducido por Sexton et al. (1986) y desarrollado por Doyle & Green (1994). El propósito principal de un modelo de análisis envolvente de datos con eficiencia cruzada, es evaluar la eficiencia de todas las DMU's con los ponderadores óptimos de cada DMU. Anderson (2002) expone dos ventajas en el uso de la eficiencia cruzada: la primera es porque se genera una clasificación única haciendo más difícil la presencia de empates, debido a la mezcla de todos los ponderadores en la evaluación; la segunda concierne con la eliminación de ponderadores no realistas usados por una DMU, en razón que una vez los ponderadores óptimos de una DMU son escogidos para calcular la eficiencia de las otras DMU's, estas nuevas eficiencias se incorporan a una matriz para calcular la eficiencia cruzada. Farzipoor Saen et al. (2013) argumentan que debido a que los ponderadores encontrados a través del modelo estándar de análisis envolvente de datos no son únicos, podría reducirse la utilidad del modelo de eficiencia cruzada. Para superar esta situación, Doyle & Green (1994) proponen el uso de una evaluación de eficiencia cruzada exigente o benevolente. En Talluri et al. (2013) se exponen los dos planteamientos, los cuales solo difieren en la función objetivo: el primero de ellos minimiza la función objetivo en aras de encontrar los ponderadores que maximicen la eficiencia de la DMU que se está evaluando y minimice las eficiencias de las otras DMU's; en el segundo se maximiza la función objetivo para encontrar la máxima eficiencia de la DMU que se está evaluando y maximizar también las eficiencias de las otras DMU's. El modelo que se utilizó para resolver el caso de estudio fue tomado de Farzipoor Saen et al. (2013) con enfoque benevolente. La formulación matemática del modelo con la cual se calculan los ponderadores óptimos v_i y u_r se calcula a través del modelo (2):

$$\text{Maximizar } h = \sum_{r=1}^R u_r \sum_{k=1}^n y_{rk}, \quad k = 1, \dots, n, \quad k \neq 0$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^I v_i \sum_{k=1}^n x_{ik} = 1, \quad k = 1, \dots, n, \quad k \neq 0$$

$$\sum_{r=1}^R u_r y_{rk} - \sum_{i=1}^I v_i x_{ik} \leq 0 \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^R u_r y_{ro} - E_{oo} \sum_{i=1}^I v_i x_{io} \leq 0,$$

$$u_r \geq 0 \quad r = 1, \dots, R$$

$$v_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, I$$

donde h representa el producto de todas las salidas por sus ponderadores para todas las DMU's. La eficiencia E_{oo} es calculada a partir del modelo (1) y se toma como un dato de entrada en esta segunda fase.

3.5.3 Fase 3. Eficiencias cruzadas: en el ámbito de la evaluación de proveedores, Farzipoor Saen et al. (2013) definen el cálculo de la eficiencia cruzada como sigue: para cada DMU_o ($o = 1, \dots, K$) se encuentran los ponderadores óptimos u_r^*, v_i^* a través del modelo (2), los cuales se usan para calcular la eficiencia cruzada E_{ok} de todas las DMU_k ($k = 1, \dots, K$), relacionado en la ecuación (3):

$$E_{ok} = \frac{\sum_{r=1}^R u_{ro}^* y_{rk}}{\sum_{i=1}^I v_i^* x_{ik}} \quad k = 1, \dots, n \quad k \neq 0 \quad (3)$$

La Figura 6 ilustra la generalización de una matriz de eficiencia cruzada en la cual la última fila y la última columna representan la eficiencia de la n -ésima DMU (proveedor):

Figura 6. Generalización de una matriz de eficiencia cruzada

Proveedor que evalúa	1	2	Proveedor evaluado	:	:	n	Promedio \bar{E}_{ks}
1	E_{11}	E_{12}	E_{13}	:	:	E_{1n}	\bar{E}_{1n}
2	E_{21}	E_{22}	E_{23}	:	:	E_{2n}	\bar{E}_{1n}
3	E_{31}	E_{32}	E_{33}	:	:	E_{3n}	\bar{E}_{1n}
.	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:
N	E_{n1}	E_{n2}	E_{n3}	:	:	E_{nn}	\bar{E}_{kn}
Promedio \bar{E}_{sk}	\bar{E}_{n1}	\bar{E}_{n2}	\bar{E}_{n3}	:	:	\bar{E}_{sn}	

Nota. Elaborado con base en Talluri et al. (2013)

En Talluri et al. (2013) se detalla el cálculo de la eficiencia cruzada \bar{E}_{sk} como sigue:

$$\bar{E}_{sk} = \frac{1}{n-1} \sum_{s \neq k}^n E_{sk} \quad (4)$$

Doyle & Green (1994) desarrollan el “índice de independencia” M_k , con base en el cual determinan que una DMU con un índice relativamente alto, indica un desempeño superior a partir de sus propios ponderadores, pero muy pobre cuando es evaluada con relación a los ponderadores de las otras DMU’s. A continuación, la formulación para el “índice de independencia” M_k

$$M_k = \frac{(E_{kk} - \bar{E}_{sk})}{\bar{E}_{sk}} \quad (5)$$

donde E_{kk} representa la eficiencia de la diagonal de la matriz, obtenida en la primera fase a través del modelo (1).

De acuerdo a lo argumentado en Talluri et al. (2013) la eficiencia \bar{E}_{sk} (la cual también es denominada eficiencias evaluada por los pares) calculada a partir de la ecuación (4), no suministra información para valorar el desempeño de una DMU (proveedor) en una (o en un conjunto) de dimensiones, de tal forma que la conclusión se limita a valorar el desempeño general de la DMU, por ejemplo, una DMU con un resultado alto de \bar{E}_{sk} se considera una DMU con un buen desempeño en general.

A partir de los anterior Talluri et al. (2013) introducen el concepto de eficiencia cruzada de los pares evaluados \bar{E}_{ks} (en adelante eficiencia de diversidad), a través de la cual es posible entender como una DMU está evaluando a sus pares; por ejemplo, si una DMU obtiene un resultado relativamente bajo en la eficiencia \bar{E}_{ks} , se puede inferir que esta DMU posee capacidades únicas que resaltan el desempeño de esa DMU frente a las otras. La eficiencia \bar{E}_{ks} se define como:

$$\bar{E}_{ks} = \frac{1}{n-1} \sum_{s \neq k}^n E_{ks} \quad (6)$$

Para complementar y facilitar la comprensión, Talluri et al. (2013) desarrollan una medida denominada “índice de diversidad” D_k . Este índice puede ser negativo o positivo, donde una DMU con un alto valor positivo indica una ventaja en desempeño frente a otras DMU’s, de tal forma que la DMU posee capacidades que la hacen única. La ecuación para el cálculo del “índice de diversidad” D_k es:

$$D_k = \frac{(E_{kk} - \bar{E}_{ks})}{\bar{E}_{ks}} \quad (7)$$

3.6 Atributos ordinales

En el análisis exploratorio de datos se mencionó que dos de los atributos de las salidas son calificados a través de una escala ordinal:

- Solución de problemas (reclamos de calidad)
- Aspecto ambiental

Con el propósito de determinar la naturaleza de la calificación de los atributos ordinales, es necesario validar si la relación entre los resultados de la medición de éstos es de carácter fuerte o débil. De acuerdo a Ali et al. (1991), una relación ordinal estricta (fuerte) es aquella en la cual empates entre las calificaciones no son permitidos, mientras que en una relación ordinal débil si son permitidos.

En el presente caso de estudio los proveedores (DMU's) pueden tener una misma calificación en un mismo atributo, de tal forma que la relación ordinal es débil. Las relaciones débiles están definidas a través de las ecuaciones (8) y (9) como sigue:

$$y_{r1} \leq y_{r2} \leq \dots \leq y_{rk} \dots \leq y_{rn} \quad r \in DO \quad (8)$$

$$x_{r1} \leq x_{r2} \leq \dots \leq x_{rk} \dots \leq x_{rn} \quad r \in DI \quad (9)$$

Donde DO y DI son el conjunto de salidas y entradas, respectivamente.

Existen dos métodos para llevar a cabo análisis envolvente de datos en presencia de datos ordinales: (i) Cooper et al. (1999) plantean realizar una transformación de escala de los datos, realizar alteraciones de las variables para incluir nuevas variables, para finalmente solucionar a través del modelo estándar de análisis envolvente de datos. (ii) Zhu (2003) sugiere transformar los datos de cada DMU cada vez que se vaya a realizar la evaluación de la eficiencia, de tal forma que si existen n DMU's será necesario realizar n transformaciones. Una vez realizada la transformación se evalúa la eficiencia según el modelo seleccionado. Para el tratamiento de los datos ordinales se decidió seguir el enfoque de Zhu (2003).

En resumen y según lo expuesto hasta este punto el modelo bajo el cual se llevó a cabo la evaluación de la eficiencia es: eficiencia cruzada orientada a las entradas con enfoque benevolente, en presencia de salidas ordinales transformadas en datos exactos.

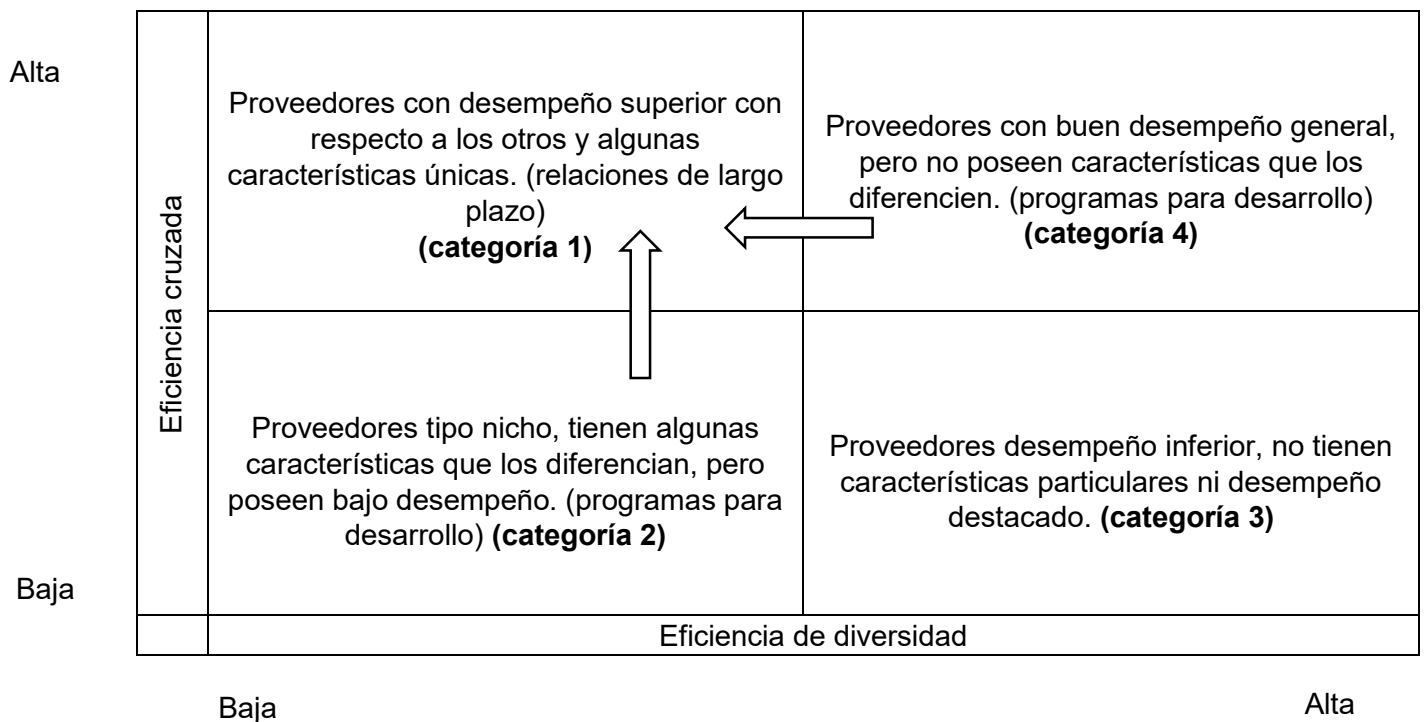
3.7 Selección del modelo para clasificar los proveedores

La clasificación de proveedores se realizó a partir del modelo presentado por Talluri et al. (2013), en el cual se propone clasificar los proveedores en cuatro categorías a partir de los cuadrantes definidos por la intersección de los límites establecidos para las eficiencias cruzadas y de diversidad, los cuales son:

- Proveedores con desempeño superior
- Proveedores tipo nicho
- Proveedores con desempeño inferior
- Proveedores con buen desempeño en general

La figura 7 esquematiza la propuesta:

Figura 7. Modelo para clasificación de proveedores



Nota. Elaborado con base en Talluri et al. (2013)

Con el propósito de realizar una clasificación más precisa, Talluri et al. (2013) sugieren complementar el análisis al interior de cada categoría con base en la eficiencia cruzada y el “índice de diversidad”, calculados a partir de las ecuaciones (4) y (7) respectivamente, a través de un análisis dimensional

3.8 Análisis dimensional

Anteriormente se explicaron los beneficios que se obtienen a través del índice de diversidad. No obstante, Talluri et al. (2013) manifiestan que determinar cuáles dimensiones contribuyen a la diversidad, ayuda a realizar análisis más profundos con el objetivo de establecer estrategias para el desarrollo de los proveedores. Los autores antes citados proponen llevar cabo un análisis dimensional a partir de los atributos de las entradas y salidas, a través del cual se pueda establecer en cuáles atributos los proveedores tienen un desempeño superior. Este desempeño superior, se calcula con base en la calificación de cada atributo y su razón respecto al promedio de ese mismo atributo. En el capítulo de los resultados se presenta el análisis dimensional para el caso de estudio.

DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

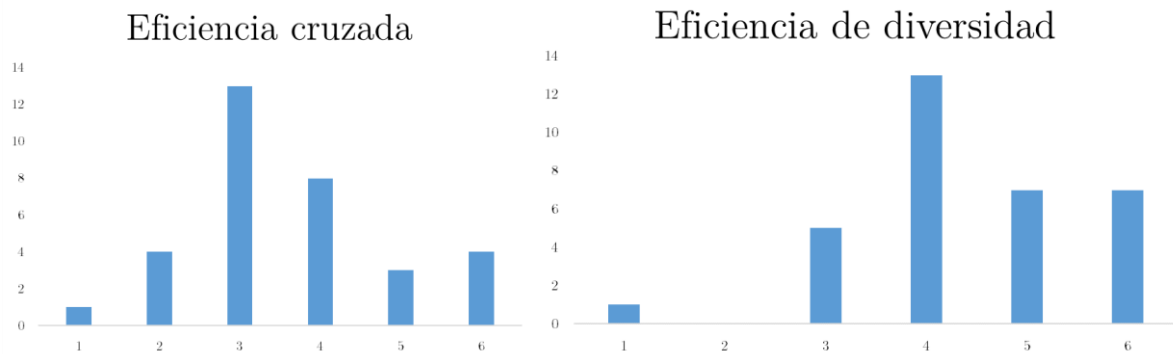
El objeto del presente estudio es la evaluación y clasificación de los 33 proveedores que suministraron partes durante el año 2015, para el ensamble de motocicletas en una compañía ubicada en el Valle de Aburrá (Antioquia). La información entregada por la compañía ensambladora estaba estructurada en trimestres, en razón de lo cual fue necesario agregarla en una sola base de datos, la cual fue validada entre el jefe de compras y el autor del estudio. Es importante aclarar que el enfoque del estudio es la evaluación de proveedores y no la selección, diferencia explicada en la subsección 2.1. Los 21 atributos iniciales (distribuidos en siete categorías) fueron depurados para obtener 12 atributos, clasificados en cinco dimensiones. Con los resultados de las eficiencias y de los índices de las mismas, se realizaron tres clasificaciones para los proveedores: con base en su eficiencia cruzada, a partir del índice de diversidad y un ranking de los proveedores, el cual combina estas dos últimas mediciones. La categorización se llevó a cabo utilizando las eficiencias cruzada y de diversidad. Es importante señalar que los límites para las clasificaciones, el ranking y la categorización se establecieron con base en la mediana, debido a que los histogramas de los datos de las eficiencias e índices reflejaron sesgos en la distribución y de acuerdo con Montgomery et al. (2002), ésta es una medición apropiada para obtener el valor de la tendencia central en distribuciones sesgadas. Los resultados se discuten de acuerdo a las clasificaciones definidas por la compañía ensambladora: por tipo de abastecimiento y línea de producción. Seguidamente se llevó a cabo un análisis dimensional para aquellos proveedores con un índice de diversidad superior a la mediana, con el ánimo de establecer en cuales de los atributos éstos evidencian resultados más sobresalientes. Para finalizar se presentan dos análisis separados en dos grupos y en dos casos, identificados en el ranking y en la categorización respectivamente, con los cuales se pretende ampliar la discusión sobre la definición de los límites y las implicaciones de éstos.

4.1 Resultados

Antes de iniciar la discusión de los resultados, se presenta un análisis exploratorio de los resultados de las eficiencias cruzada y de diversidad, con el objetivo de visualizar la distribución de éstas y seleccionar la estadística descriptiva más apropiada.

En la Figura 8 se observan los histogramas de las eficiencias cruzada y de diversidad, encontrados a partir de las ecuaciones (4) y (6) respectivamente. En ambos se pueden apreciar sesgos hacia la izquierda (más pronunciado en la eficiencia de diversidad), en consecuencia y conforme a lo argumentado en la descripción del caso de estudio, las clasificaciones que en adelante se presentan se realizaron con base en la mediana. Aquellos proveedores con un desempeño superior deberán tener una eficiencia cruzada mayor o igual a su mediana, y una eficiencia de diversidad menor o igual que su mediana.

Figura 8. Histogramas de las eficiencias



4.2 Clasificación con base en la eficiencia cruzada

La Tabla 8 registra la clasificación de los proveedores utilizando la eficiencia cruzada, hallada con base en la ecuación (4). Con el objetivo de aproximar una clasificación, se considera que los proveedores que tienen una eficiencia cruzada superior a la mediana, tienen un desempeño superior.

Tabla 8. Clasificación de proveedores con base en la eficiencia cruzada

PROVEEDOR	EFICIENCIA TÉCNICA	EFICIENCIA CRUZADA	EFICIENCIA DE DIVERSIDAD	ÍNDICE DE INDEPENDENCIA	ÍNDICE DE DIVERSIDAD
Proveedor M	100.0%	98.1%	51.0%	1.9%	96.3%
Proveedor B	100.0%	91.2%	56.6%	9.7%	76.7%
Proveedor CC	100.0%	87.0%	56.6%	14.9%	76.7%
Proveedor C	100.0%	84.6%	61.5%	18.2%	62.6%
Proveedor DD	100.0%	69.3%	51.0%	44.3%	96.3%
Proveedor V	100.0%	69.0%	51.3%	44.9%	95.0%
Proveedor Q	100.0%	67.0%	48.5%	49.2%	106.1%
Proveedor X	100.0%	65.7%	59.2%	52.1%	68.8%
Proveedor EE	100.0%	64.9%	64.6%	54.0%	54.9%
Proveedor P	97.4%	63.5%	46.6%	53.5%	108.9%
Proveedor N	100.0%	63.4%	58.3%	57.7%	71.6%
Proveedor D	100.0%	62.6%	56.2%	59.6%	78.0%
Proveedor J	100.0%	60.9%	64.1%	64.1%	56.0%
Proveedor A	100.0%	57.5%	45.7%	73.9%	118.9%
Proveedor HH	100.0%	52.8%	50.6%	89.5%	97.7%
Proveedor F	100.0%	49.8%	61.5%	100.8%	62.6%
Proveedor T	100.0%	48.0%	57.1%	108.2%	75.1%
Proveedor Z	84.6%	47.0%	40.4%	79.9%	109.3%
Proveedor Y	†100%	43.5%	42.9%	130.0%	132.9%
Proveedor BB	†100%	42.6%	49.7%	135.0%	101.4%
Proveedor U	†100%	42.1%	47.6%	137.5%	110.2%
Proveedor G	†100%	40.9%	57.7%	144.6%	73.4%
Proveedor GG	63.1%	39.6%	51.8%	59.4%	21.7%
Proveedor S	55.3%	39.1%	53.9%	41.4%	2.6%
Proveedor E	68.8%	38.9%	33.1%	76.8%	107.9%
Proveedor L	85.5%	38.6%	52.3%	121.4%	63.6%
Proveedor O	†100%	37.1%	65.3%	169.2%	53.1%
Proveedor H	92.8%	35.5%	42.3%	161.6%	119.6%
Proveedor R	95.9%	32.7%	51.3%	193.4%	87.0%
Proveedor AA	†100%	32.2%	59.1%	210.1%	69.3%
Proveedor K	74.1%	23.0%	45.4%	222.0%	63.3%
Proveedor I	58.3%	21.7%	46.6%	168.5%	25.2%
Proveedor FF	†100%	19.8%	50.7%	405.2%	97.2%
	Mediana	48.0%			

† Proveedores cuya eficiencia técnica es del 100%, pero cuyo desempeño evaluado por los otros proveedores es inferior a la mediana de la eficiencia cruzada (desempeño inferior).

Los resultados de la eficiencia técnica revelan 23 proveedores eficientes. No obstante, la clasificación a partir de la eficiencia cruzada evidencia que siete de los 23 proveedores eficientes, registraron una eficiencia cruzada por debajo de la mediana, descartándolos inicialmente de la categoría con desempeño superior.

4.3 Clasificación con base en el índice de diversidad

En la Tabla 9 se presenta la clasificación de los proveedores con base en el índice de diversidad, calculado a partir de la ecuación (7). Con el objetivo de realizar una clasificación con base en este índice, se considera que los proveedores que tienen un índice de diversidad superior a la mediana tienen un desempeño superior.

Tabla 9. Clasificación de proveedores con base en el índice de diversidad

PROVEEDOR	EFICIENCIA TÉCNICA	EFICIENCIA CRUZADA	EFICIENCIA DE DIVERSIDAD	ÍNDICE DE INDEPENDENCIA	ÍNDICE DE DIVERSIDAD
Proveedor Y	100.0%	43.5%	42.9%	130.0%	132.9%
Proveedor H	92.8%	35.5%	42.3%	161.6%	119.6%
Proveedor A	100.0%	57.5%	45.7%	73.9%	118.9%
Proveedor U	100.0%	42.1%	47.6%	137.5%	110.2%
Proveedor Z	84.6%	47.0%	40.4%	79.9%	109.3%
Proveedor P	97.4%	63.5%	46.6%	53.5%	108.9%
Proveedor E	68.8%	38.9%	33.1%	76.8%	107.9%
Proveedor Q	100.0%	67.0%	48.5%	49.2%	106.1%
Proveedor BB	100.0%	42.6%	49.7%	135.0%	101.4%
Proveedor HH	100.0%	52.8%	50.6%	89.5%	97.7%
Proveedor FF	100.0%	19.8%	50.7%	405.2%	97.2%
Proveedor M	100.0%	98.1%	51.0%	1.9%	96.3%
Proveedor DD	100.0%	69.3%	51.0%	44.3%	96.3%
Proveedor V	100.0%	69.0%	51.3%	44.9%	95.0%
Proveedor R	95.9%	32.7%	51.3%	193.4%	87.0%
Proveedor D	100.0%	62.6%	56.2%	59.6%	78.0%
Proveedor B	100.0%	91.2%	56.6%	9.7%	76.7%
Proveedor CC	100.0%	87.0%	56.6%	14.9%	76.7%
Proveedor T	‡100%	48.0%	57.1%	108.2%	75.1%
Proveedor G	‡100%	40.9%	57.7%	144.6%	73.4%
Proveedor N	‡100%	63.4%	58.3%	57.7%	71.6%
Proveedor AA	‡100%	32.2%	59.1%	210.1%	69.3%
Proveedor X	‡100%	65.7%	59.2%	52.1%	68.8%
Proveedor L	85.5%	38.6%	52.3%	121.4%	63.6%
Proveedor K	74.1%	23.0%	45.4%	222.0%	63.3%
Proveedor C	‡100%	84.6%	61.5%	18.2%	62.6%
Proveedor F	‡100%	49.8%	61.5%	100.8%	62.6%
Proveedor J	‡100%	60.9%	64.1%	64.1%	56.0%
Proveedor EE	‡100%	64.9%	64.6%	54.0%	54.9%
Proveedor O	‡100%	37.1%	65.3%	169.2%	53.1%
Proveedor I	58.3%	21.7%	46.6%	168.5%	25.2%
Proveedor GG	63.1%	39.6%	51.8%	59.4%	21.7%
Proveedor S	55.3%	39.1%	53.9%	41.4%	2.6%
				M ediana	76.7%

‡ Proveedores con eficiencia técnica del 100%, pero cuyo desempeño evaluado por los otros proveedores es inferior a la mediana del índice de diversidad (desempeño inferior).

En la Tabla 8 se evidencia que 10 de los 23 proveedores inicialmente eficientes, están por debajo de la mediana del índice de diversidad, dejándolos por fuera de lo estipulado como desempeño superior.

4.4 Análisis dimensional

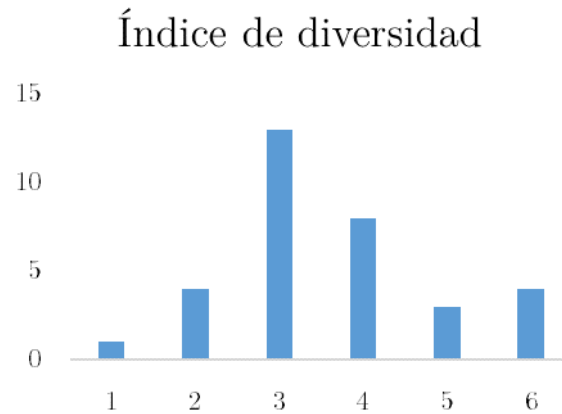
La Tabla 10 presenta los resultados del análisis dimensional, obtenidos a partir del índice de diversidad. El análisis se realizó para aquellos proveedores cuyo índice de diversidad, encontrado con base en la ecuación (7), supera la mediana de esta medición, puesto que como se observa en la Figura 9, el histograma de los valores del índice de diversidad está sesgado hacia la izquierda. Los atributos de las dimensiones a evaluar serán aquellos en los cuales los ponderadores fueron diferentes a cero, además en los que el proveedor puede intervenir sobre la calificación de los mismos.

Tabla 10. Análisis dimensional por proveedor

Proveedor	Índice de diversidad	Categoría	Tiempo atención requerimientos no planeados	Tamaño de lote (unidades)	Cumplimiento en entregas para producción	Solución de problemas (reclamos de calidad)	Ambiental
Proveedor Y	132.9%	2	95.7%	72.1%	---	---	46.5%
Proveedor H	119.6%	2	---	-79.3%	---	17.2%	-26.7%
Proveedor A	118.9%	1	25.1%	-87.6%	---	---	46.5%
Proveedor U	110.2%	2	34.8%	-91.7%	---	---	46.5%
Proveedor Z	109.3%	2	15.5%	-89.7%	---	6.2%	---
Proveedor P	108.9%	1	-61.5%	-93.1%	-2.7%	---	---
Proveedor E	107.9%	2	---	-92.6%	---	---	46.5%
Proveedor Q	106.1%	1	-22.4%	---	7.8%	---	46.5%
Proveedor BB	101.4%	2	2.7%	244.3%	---	---	46.5%
Proveedor HH	97.7%	1	21.9%	-86.2%	---	17.2%	---
Proveedor FF	97.2%	2	---	37.7%	---	17.2%	---
Proveedor DD	96.3%	1	-54.3%	-93.1%	---	---	---
Proveedor M	96.3%	1	-41.7%	-31.1%	---	---	---
Proveedor V	95.0%	4	-42.2%	-81.3%	7.8%	17.2%	46.5%
Proveedor R	87.0%	3	---	-86.2%	---	6.2%	28.2%
Proveedor D	78.0%	4	-29.4%	-31.1%	-1.1%	---	46.5%
Proveedor CC	76.7%	4	-45.5%	-91.7%	7.8%	17.2%	---
Proveedor B	76.7%	4	-35.8%	-31.1%	-19.7%	17.2%	---
Mediana	76.7%						

Nota. ---- Para ese proveedor el ponderador correspondiente a ese atributo es cero (0) proveedor

Figura 9. Histograma índice de diversidad



Los proveedores “P” y “M” sobresalen en la dimensión “Tiempo atención requerimientos no planeados” con tiempos de entrega menores en más del 50% al promedio del atributo.

Con relación al atributo “Tamaño de lote (unidades)” los proveedores “H”, “A”, “U”, “Z”, “P”, “E”, “M”, “V”, “R”, y “B” tienen un tamaño de lote inferior al 50% de la media.

Si bien en el atributo de “Cumplimiento en entregas para producción” el desempeño superior no es muy alto respecto a los otros atributos, es importante tener presente que la media de este atributo fue del 93% y el coeficiente de variación del 10.3%. Sin embargo, los proveedores “Q”, “V” y “B” tienen un cumplimiento superior a la media de un 7.8%.

Respecto al atributo “Solución de problemas (reclamos de calidad), seis proveedores: “H”, “HH”, “IFF”, “V”, “B” y “CC” marcan un 17.2% de mejor desempeño respecto al promedio.

Finalmente, en el atributo “Aspecto ambiental” los proveedores “Y”, “A”, “U”, “E”, “Q”, “BB”, “V” Y “D” atienden el aspecto ambiental un 46.5% mejor que el promedio.

4.5 Ranking de proveedores

Las dos clasificaciones anteriores se realizaron con las eficiencias cruzada y de diversidad por separado. En la clasificación que se presenta en la tabla 11 se realizará una clasificación utilizando como primer criterio la eficiencia cruzada (mayor es mejor) y como segundo criterio el índice de diversidad (más grande es más importante), calculados a partir de las ecuaciones (4) y (7) respectivamente.

Tabla 11. Ranking de proveedores

PROVEEDOR	LÍNEA DE PRODUCCIÓN	TIPO DE ABASTECIMIENTO	EFICIENCIA CRUZADA	ÍNDICE DE DIVERSIDAD
Proveedor M	Ensamblés	JAT	98.1%	96.3%
Proveedor B	Ensamblés	JAT	91.2%	76.7%
Proveedor CC	Componentes plástico y caucho	Mensual	87.0%	76.7%
Proveedor C	Partes metálicas	Mensual	84.6%	62.6%
*Proveedor DD	Componentes plástico y caucho	Mensual	69.3%	96.3%
*Proveedor V	Partes metálicas	Mensual	69.0%	95.0%
Proveedor Q	Componentes plástico y caucho	Mensual	67.0%	106.1%
Proveedor X	Partes metálicas	Mensual	65.7%	68.8%
**Proveedor EE	Partes metálicas	Semanal	64.9%	54.9%
**Proveedor P	Partes metálicas	Mensual	63.5%	108.9%
**Proveedor N	Componentes plástico y caucho	Mensual	63.4%	71.6%
Proveedor D	Partes metálicas	Mensual	62.6%	78.0%
Proveedor J	Componentes plástico y caucho	Inhouse	60.9%	56.0%
Proveedor A	Partes metálicas	JAT	57.5%	118.9%
Proveedor HH	Ensamblés	JAT	52.8%	97.7%
Proveedor F	Partes metálicas	Mensual	49.8%	62.6%
Proveedor T	Impresores	Mensual	48.0%	75.1%
Proveedor Z	Partes metálicas	Mensual	47.0%	109.3%
Proveedor Y	Partes metálicas	Mensual	43.5%	132.9%
Proveedor BB	Ensamblés	Mensual	42.6%	101.4%
Proveedor U	Partes metálicas	Semanal	42.1%	110.2%
Proveedor G	Partes metálicas	Mensual	40.9%	73.4%
Proveedor GG	Componentes plástico y caucho	Mensual	39.6%	21.7%
Proveedor S	Impresores	Mensual	39.1%	2.6%
Proveedor E	Partes metálicas	Mensual	38.9%	107.9%
Proveedor L	Partes metálicas	Mensual	38.6%	63.6%
Proveedor O	Partes metálicas	Mensual	37.1%	53.1%
Proveedor H	Partes metálicas	Mensual	35.5%	119.6%
Proveedor R	Ensamblés	Mensual	32.7%	87.0%
Proveedor AA	Partes metálicas	Semanal	32.2%	69.3%
Proveedor K	Partes metálicas	Semanal	23.0%	63.3%
Proveedor I	Componentes plástico y caucho	JAT	21.7%	25.2%
Proveedor FF	Componentes plástico y caucho	Mensual	19.8%	97.2%
Mediana			48.0%	

* Proveedores que hacen parte del grupo 1

** Proveedores que hacen parte del grupo 2

Con respecto a la clasificación por tipo de abastecimiento, los proveedores que entregan bajo la modalidad “Justo a Tiempo” (JAT) están ubicados en las dos primeras ubicaciones, lo cual

representa el 40% de las primeras 5 posiciones, cifra muy importante si se considera que éstos conforman el 15 % del total de los proveedores. Las tres posiciones restantes (60%) están ocupadas por los proveedores con entrega mensual, los cuales conforman el 70% del total. Llama la atención que el primer proveedor con entregas semanales esté en la posición novena y más aún, que el único proveedor “*inhouse*” ocupe la casilla trece.

Con relación a la clasificación por línea de producción, sobresale el hecho de que las dos primeras posiciones (40%), estén ocupadas por proveedores que suministran ensambles, lo cuales representan el 15% del total de proveedores. El grupo de componentes de plástico y caucho ubicó dos proveedores (40%) entre las cinco primeras posiciones; éstos representan el 24% de todos los proveedores. El grupo de partes metálicas que representa el 55% del total, clasificó su primer proveedor en la cuarta posición. Finalmente, el primer proveedor de la línea de los impresores apareció en la decimotercera posición.

El análisis que sigue se realiza para los proveedores cuya medida de eficiencia cruzada es superior a la mediana, por ser éstos a quienes se ha definido con un desempeño superior. Si bien no se producen empates, aun utilizándose un solo decimal para la notación de la eficiencia cruzada, si puede observarse que las diferencias entre los grupos de proveedores: “DD” - “V” y “EE” - “P” - “N”, en adelante grupo 1 y 2 respectivamente, son ínfimas; no obstante, cuando la evaluación se complementa con el índice de diversidad la diferencia entre los proveedores se hace más apreciable. Aunque para los proveedores del grupo 1, la diferencia entre los índices de diversidad solo excede ligeramente el 1%, para el segundo grupo las diferencias del mismo índice están entre un 37% y un 54%, lo cual indica un desempeño dimensionalmente diferente.

A continuación se presenta el análisis dimensional de los grupos de proveedores 1 y 2. En las Tablas 12 y 13 relacionan los grupos de proveedores y los atributos utilizados para realizar el análisis dimensional.

Tabla 12. Ranking para proveedores del grupo 1

Proveedor	Ranking	Eficiencia cruzada	Índice de diversidad	Tiempo atención requerimientos no planeados	Tamaño de lote (unidades)	Cumplimiento en entregas para producción	Solución de problemas (reclamos de calidad)	Ambiental
Proveedor DD	5	69.3%	96.3%	-41.7%	-31.1%	---	---	---
Proveedor V	6	69.0%	95.0%	-42.2%	-81.3%	7.8%	17.2%	46.5%

Si bien el proveedor “DD” obtuvo un mejor ranking que el proveedor “V”, en el análisis dimensional se observa que este último tuvo un mejor desempeño en tres de los atributos de las salidas.

Tabla 13. Ranking para proveedores del grupo 2

Proveedor	Ranking	Eficiencia cruzada	Índice de diversidad	Tiempo atención requerimientos no planeados	Tamaño de lote (unidades)	Cumplimiento en entregas para producción	Solución de problemas (reclamos de calidad)	Ambiental
Proveedor EE	9	64.9%	54.9%	-71.1%	-75.2%	5.4%	6.2%	---
Proveedor P	10	63.5%	108.9%	-61.5%	-93.1%	-2.7%	---	---
Proveedor N	11	63.4%	71.6%	-29.4%	932.8%	---	17.2%	---

La novena posición del proveedor “EE” es indiscutible, no obstante, entre las posiciones décima y undécima la clasificación no es tan contundente. El proveedor “P” tiene un desempeño superior en los atributos de las entradas, sin embargo, “N” excede en un 17.2% el promedio del atributo “solución de problemas (reclamos de calidad)”.

4.6 Clasificación con base en las eficiencias cruzada y de diversidad

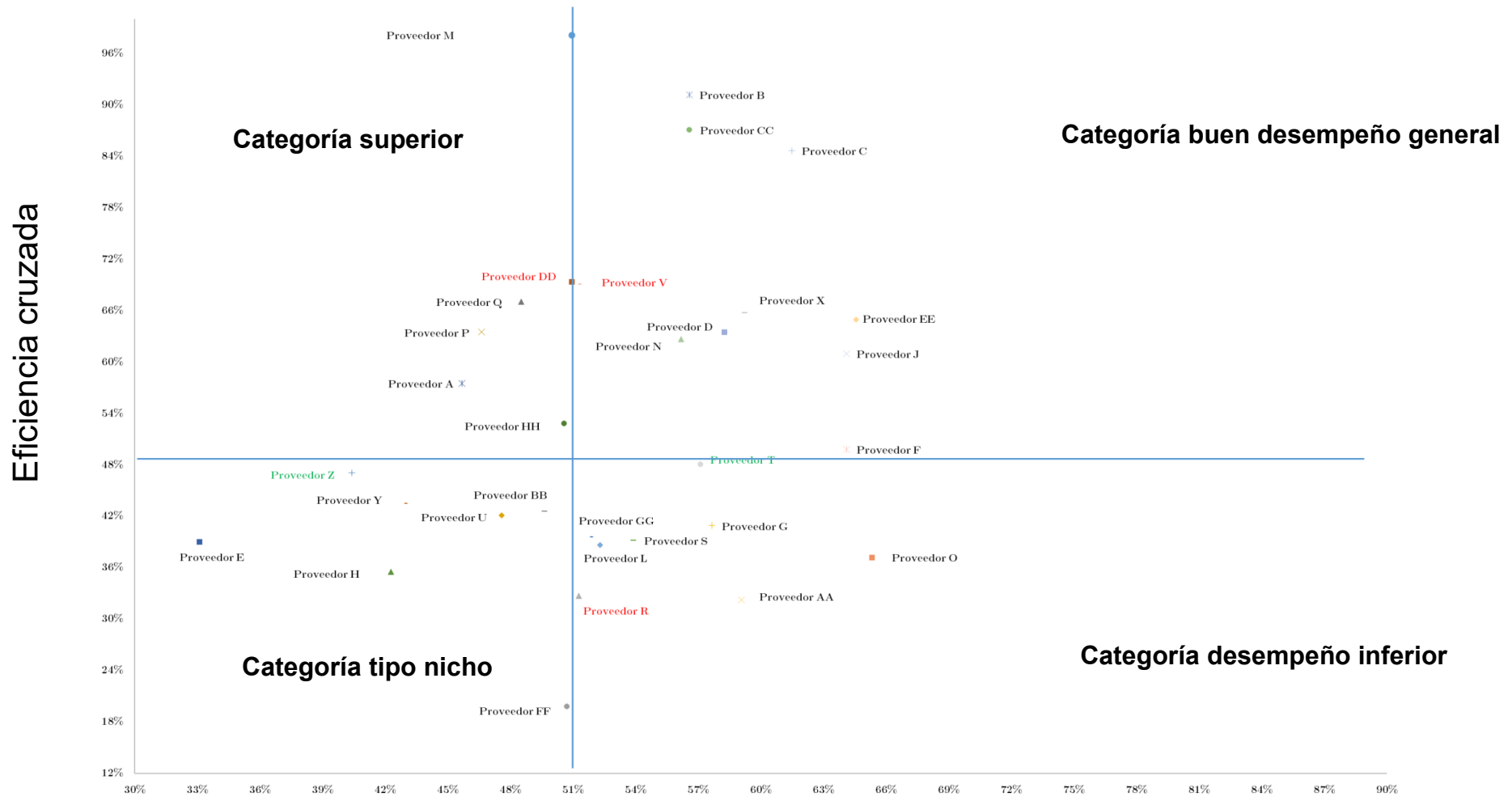
Las categorías para clasificar los proveedores se conformaron con base en las eficiencias cruzada y de diversidad a partir de las ecuaciones (4) y (6) respectivamente; los límites para cada uno de los intervalos, presentados en la Tabla 14, se definieron con base en las medianas, manteniendo presente que un proveedor con un desempeño superior deberá tener una eficiencia cruzada que exceda su mediana, y una eficiencia de diversidad que esté por debajo de su mediana. En el evento de que las eficiencias sean iguales a los límites, la regla para asignación privilegiará la pertenencia a las categorías 1,2,4, según la combinación de las igualdades y favoreciendo la ubicación del proveedor en la mejor categoría, es decir, entre la 1 y la 2 prevalecerá la 1 y entre la 3 y la 4 se priorizará la 4.

Tabla 14. Intervalos de las categorías de los proveedores

	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4
Eficiencia cruzada	≥ 0.48	< 0.48	< 0.48	≥ 0.48
Eficiencia de diversidad	≤ 0.51	≤ 0.51	> 0.51	≥ 0.51

La clasificación arroja seis proveedores en la categoría 1, nueve proveedores en la categoría 2, siete proveedores en la categoría 3 y once proveedores en la categoría 4. En la Figura 10 se observa la representación en un plano cartesiano de los proveedores en las categorías.

Figura 10. Diagrama de clasificación de proveedores



Proveedores caso 1

Proveedores caso 2

Eficiencia de diversidad

Con el propósito de ampliar y precisar la discusión de esta clasificación, se seleccionaron cinco proveedores agrupados en los casos 1 y 2, lo cuales se relacionan en las Tablas 11 y 12.

Las Tablas 15 y 16 presentan los proveedores que hacen parte de los casos 1 y 2

Tabla 15. Proveedores que conforman el caso 1

Proveedor	Eficiencia cruzada	Eficiencia de diversidad	Índice de diversidad	Categoría	Tiempo atención requerimientos no planeados	Tamaño de lote (unidades)	Cumplimiento en entregas para producción	Solución de problemas (reclamos de calidad)	Ambiental
Proveedor DD	69.3%	51.0%	96.3%	1	-41.7%	-31.1%	---	---	---
Proveedor V	69.0%	51.3%	95.0%	4	-42.2%	-81.3%	7.8%	17.2%	46.5%
Proveedor R	32.7%	51.3%	87.0%	3	---	-86.2%	---	6.2%	28.2%

En la Tabla 14 se observa que la eficiencia de diversidad de los proveedores “V” y “R” solo excede en 0.3% el límite (51%) que los incluiría en las categorías 1 y 2 respectivamente, de tal que desplazar el límite de la eficiencia cruzada a 51.3% para mejorar la clasificación de los proveedores “V” y “R” no es en modo alguno arbitrario, puesto que ambos proveedores reúnen méritos en el desempeño de sus atributos, además que ambos proveedores tienen un índice de diversidad superior a la mediana (76.7%).

Tabla 16. Proveedores que conforman el caso 2

Proveedor	Eficiencia cruzada	Eficiencia de diversidad	Índice de diversidad	Categoría	Tiempo atención requerimientos no planeados	Tamaño de lote (unidades)	Cumplimiento en entregas para producción	Solución de problemas (reclamos de calidad)	Ambiental
Proveedor Z	47.0%	40.4%	109.3%	2	15.5%	-89.7%	---	6.2%	---
Proveedor T	48.0%	57.1%	75.1%	4	-29.4%	---	7.8%	17.2%	---

La Tabla 15 muestra que el proveedor “T” Está en el límite definido para la eficiencia cruzada y ello lo habilita para hacer parte de la categoría 4 y el proveedor “Z” solo está por debajo del límite un 1%. Si bien el índice de diversidad del proveedor “T” es ligeramente menor a la mediana (76,7%) y su eficiencia cruzada es igual a la mediana (48%), este proveedor posee atributos en los cuales se observa un buen desempeño. Con relación al proveedor “Z”, desplazarlo de la categoría 2 hacia la categoría 1 no sería una decisión carente de sentido, puesto que en los atributos “tamaño de lote (unidades)” y “solución de problemas (reclamos de calidad)” evidencia un desempeño superior a la media de la categoría 1.

Lo anterior evidencia que los límites de cada una de las eficiencias, además de apoyarse en un argumento matemático, pueden complementarse con el análisis gráfico de las categorías con el análisis dimensional que será abordado posteriormente.

4.7 Análisis de resultados por categoría y tipo de abastecimiento

Previo al análisis, es importante calcular la participación de cada tipo de abastecimiento con respecto al total de proveedores. La Figura 11 presenta los resultados. Se observa que las formas de abastecimiento mensual y justo a tiempo (JAT) representan el 85% del total de proveedores en el portafolio.

Figura 11. Participación de los proveedores por tipo de abastecimiento

Mensual		Número proveedores
JAT		Mensual 23
Semanal		JAT 5
<i>Inhouse</i>		Semanal 4
		<i>Inhouse</i> 1



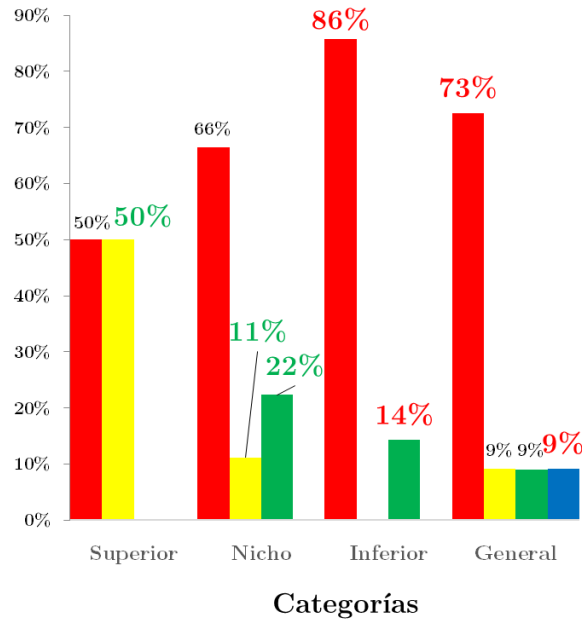
La tabla 17 relaciona para cada tipo de abastecimiento el número de proveedores en cada categoría y el porcentaje de proveedores de cada tipo en cada categoría.

Tabla 17. Proveedores por categoría y participación por tipo de abastecimiento

CATEGORÍA	TIPO DE ABASTECIMIENTO	PROVEEDORES POR CATEGORÍA	PARTICIPACIÓN DE LA CATEGORÍA EN EL TOTAL DE PROVEEDORES
	JAT	3	60%
	Mensual	3	13%
Superior		6	
	JAT	1	20%
	Mensual	6	26%
	Semanal	2	50%
Nicho		9	
	Mensual	6	26%
	Semanal	1	25%
Inferior		7	
	JAT	1	20%
	Mensual	8	34%
	Semanal	1	25%
	<i>Inhouse</i>	1	100%
General		11	

La Figura 12 detalla la participación de cada tipo de abastecimiento en cada categoría.

Figura 12. Participación por tipo de abastecimiento en cada categoría



4.7.1 Categoría 1 (proveedores con desempeño superior)

El 50% de los proveedores pertenecen a la modalidad de abastecimiento de “Justo a Tiempo”, lo cual es bastante significativo debido a que solo el 15% de los proveedores entregan bajo esta modalidad, lo que resulta en que el 60% de los proveedores que suministran “Justo a Tiempo” hacen parte de la categoría 1.

El 50% restante de esta categoría lo conforman proveedores cuya forma de entrega es mensual. Sobresale el hecho que el 70% de los proveedores entregan bajo esta característica, así solo el 13% de estos proveedores quedaron enmarcados en la categoría más importante.

4.7.2 Categoría 2 (proveedores tipo nicho)

El 66% de los proveedores que conforman este grupo realizan entregas mensuales, lo cual es coherente con la participación de esta modalidad en el total: 70%. Estas cifras representan un 26% de este tipo de proveedores en esta categoría.

El 22% de esta categoría está conformado por proveedores con entregas semanales y la participación de éstos en el total es del 12%, lo cual indica que su participación en esta categoría es muy importante. Lo anterior resulta en que el 50% de este tipo de proveedores se ubican en esta clasificación.

Finalmente, el 11% restante lo constituyen proveedores tipificados con entregas “Justo a tiempo”; estos proveedores participan con el 15% del total, de tal que el 20% de este tipo de proveedores se encuentra en esta agrupación.

4.7.3 Categoría 3 (proveedores con bajo desempeño)

Es de notar que el 86% de los proveedores en esta categoría realizan entregas mensuales. Adicionalmente, su participación en la categoría excede el 70%, el cual es la participación de estos en el total. Lo anterior representa un 26% de los proveedores de esta clasificación, asociados a esta categoría.

El resto de la categoría (14%) está representado con proveedores cuya logística de entrega es semanal, cifra que es similar al 12% de la participación de este tipo de proveedores en el total y que a su vez representa el 25% de los proveedores con esta metodología de entrega.

4.7.4 Categoría 4 (proveedores con buen desempeño general)

Para resaltar que el único proveedor con la modalidad “*inhouse*” está ubicado en esta categoría.

Los proveedores con entregas mensuales componen el 73% de la categoría, cifra muy cercana a la participación en el total (70%). Lo anterior se traduce en un 34% de este tipo de proveedores haciendo parte de esta categoría.

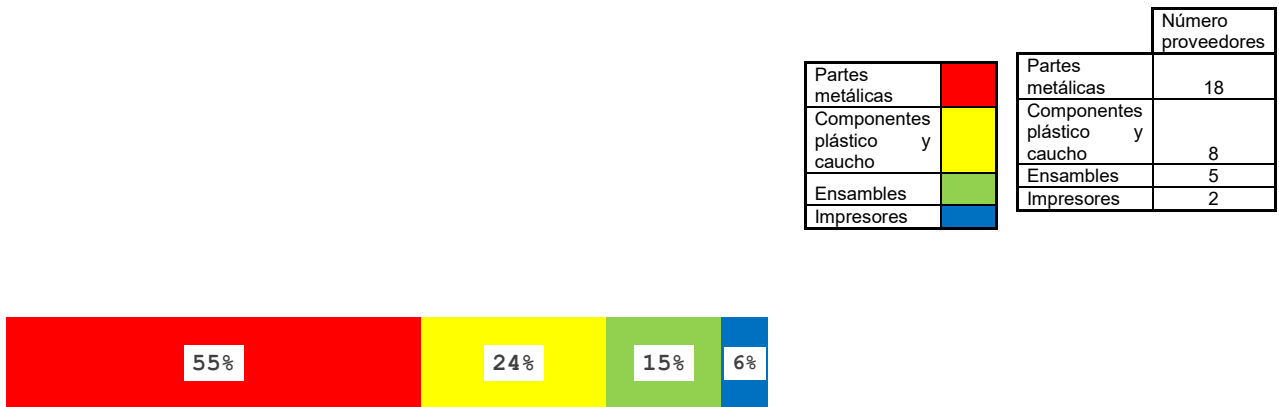
Los proveedores con entregas “Justo a Tiempo” componen el 9% de la categoría, lo cual se distancia un poco del 15% de la participación de este tipo de proveedores en el total, además de representar el 20% de los proveedores con esta característica.

Por último, los proveedores con entregas semanales responden por el 9% de la participación, cifra que es menor que el 12% de la participación de estos en el total; un 25% de este grupo de proveedores conforman esta categoría.

4.8 Análisis de resultados por categoría y línea de producción

Antes de realizar el análisis por categoría, se presenta la participación de cada línea de producción con respecto al total de proveedores. La figura 13 presenta los resultados. Se observa que las líneas de producción de partes metálicas y componentes de plástico y caucho representan el 79% del total de proveedores en el portafolio.

Figura 13. Participación de los proveedores por tipo línea de producción



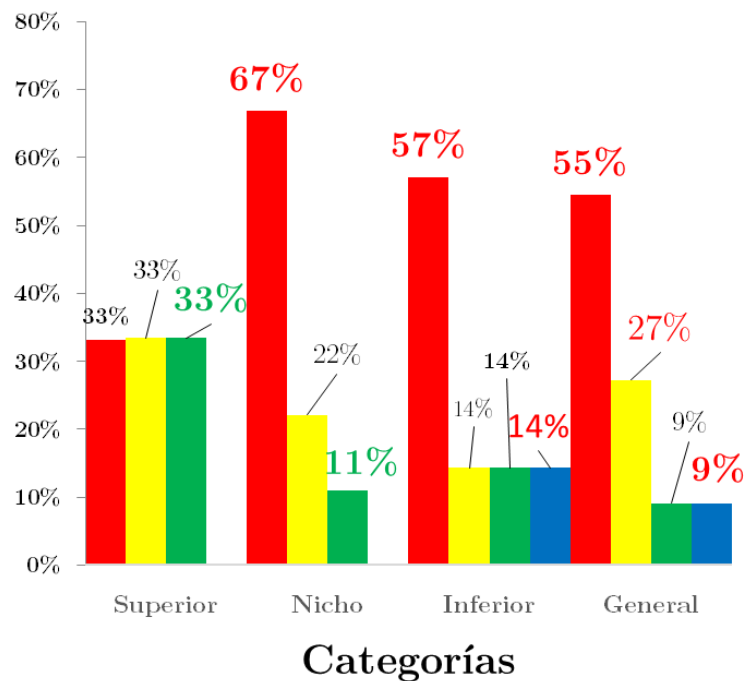
En la Tabla 18 se detalla por línea de producción el número de proveedores en cada categoría y el porcentaje de proveedores de cada línea en cada categoría.

Tabla 18. Proveedores por categoría y participación por línea de producción

CATEGORÍA	LÍNEA DE PRODUCCIÓN	PROVEEDORES POR LÍNEA	PARTICIPACION DE LA CATEGORÍA EN EL TOTAL DE
	Componentes plástico y caucho	2	25%
	Ensamblajes	2	40%
	Partes metálicas	2	11%
Superior		6	
	Componentes plástico y caucho	2	25%
	Ensamblajes	1	20%
	Partes metálicas	6	33%
Nicho		9	
	Componentes plástico y caucho	1	12%
	Ensamblajes	1	20%
	Partes metálicas	4	22%
	Impresores	1	50%
Inferior		7	
	Componentes plástico y caucho	2	38%
	Ensamblajes	1	20%
	Partes metálicas	6	33%
	Impresores	2	50%
General		11	

La Figura 14 detalla la participación de cada línea de producción en cada categoría.

Figura 14. Participación por línea en cada categoría



4.8.1 Categoría 1 (proveedores con desempeño superior)

El 33% de los proveedores de esta categoría pertenecen a la línea de producción de partes metálicas y en el total éstos conforman el 55%, lo cual se traduce en que el 11% de los proveedores que suministran partes metálicas están en esta categoría.

El 33% de esta categoría está definido por proveedores de ensamblajes, éstos proveedores componen el 15% del total, lo que significa que el 40% de estos proveedores se ubican en este grupo.

Finalmente, los proveedores que suministran componentes de plástico y caucho participan con el 33% restante de la categoría, los cuales representan el 24% de todos los proveedores, lo que resulta en que el 25% de estos proveedores se clasifican en esta agrupación.

4.8.2 Categoría 2 (proveedores tipo nicho)

El 67% de la categoría está conformado por proveedores de partes metálicas, lo cual supera la participación de éstos en el total (55%); al conjugar estas cifras resulta que el 33% de este tipo de proveedores se ubica en esta agrupación. Los proveedores de componentes de plástico y caucho participan con el 22% de la categoría, los cuales dan cuenta del 24% del total; del total de estos proveedores, el 25% se posiciona en esta clasificación.

Finalmente, con la menor participación en la categoría (11%) y conformado el 15% de total, se encuentran los proveedores de ensamblajes, línea que posiciona el 20% de sus proveedores en esta categoría.

4.8.3 Categoría 3 (proveedores con bajo desempeño)

La línea de producción de las partes metálicas aporta el 55% de los proveedores en esta clasificación, línea que compone el 55% del total de proveedores, lo que indica que el 22% de estos proveedores se clasifican en esta categoría.

La línea de componentes de plástico y caucho representa el 14% de la categoría; en el total esta línea aporta el 24% de los proveedores, de tal forma que el 12% de estos proveedores se agrupan en esta categoría.

A igual que los proveedores de componentes plásticos, los proveedores de ensambles conforman el 14% de la categoría, los cuales contribuyen con el 15% del total, porcentajes que se transforman para representar el 20% del total de estos proveedores en este grupo.

Finalmente, y con el mismo porcentaje de participación (14%) de las dos líneas anteriores se encuentran los impresores, quienes componen el 6% del total de proveedores. Si bien es uno solo el proveedor que está ubicado en esta categoría, éste equivale al 50% del total de todos los de la línea.

4.8.4 Categoría 4 (proveedores con buen desempeño general)

Los proveedores de la línea de partes metálicas componen el 55% de la categoría, cifra que es igual a la participación de estos en el total de los proveedores. Adicionalmente, el porcentaje del total de estos proveedores en la categoría es del 33%.

El 27% de los proveedores en esta categoría corresponde a la línea de componentes de plástico y caucho, quienes a su vez representan el 24% del total, lo cual resulta en que el 38% de los proveedores de esta línea están en este grupo.

Los proveedores de ensambles conforman el 9% de la categoría, los cuales participan con el 15% del total, lo que resulta en un 20% de estos proveedores ubicados en esta clasificación.

Por último, los impresores responden por el 9% de la participación de la categoría, cifra que es mayor al 6% de la participación de estos en el total, lo cual significa que el 50% de este tipo de proveedores está en esta categoría.

CONCLUSIONES

Con respecto a la metodología pueden resaltarse las siguientes conclusiones: La utilización de análisis envolvente de datos como metodología para medir eficiencia relativa, a partir de la relación entre los atributos de las dimensiones definidos como entradas y salidas, permitió evaluar, clasificar y categorizar los proveedores objeto de estudio, a través de una estructura analítica coherente y con resultados libres de ambigüedades. Así mismo, La evaluación dimensional como herramienta para examinar los resultados obtenidos a través de análisis envolvente de datos, complementa la clasificación de los proveedores por medio de la observación más precisa de las diferencias, sea para confirmar o rebatir el desempeño sobresaliente de algunos de éstos, en uno o varios atributos. Finalmente, Establecer los límites para clasificar o categorizar los proveedores con base en estadísticas descriptivas, resulta apropiado como medida de primer orden; no obstante, el criterio del evaluador podrá establecer otros límites a partir de las representaciones gráficas o de los análisis dimensionales posteriores.

En particular, para el caso de estudio, los resultados del ranking de eficiencia y la clasificación en categorías, permiten inferir que los proveedores cuyo modelo de abastecimiento es “Justo a Tiempo” exceden en desempeño a los de los otros grupos. Si bien Sower et al (2010) argumentan que el abastecimiento “Justo a Tiempo” impacta positiva y directamente en la administración total de calidad (TQM por sus siglas en inglés) y Fullerton & McWatters, (2000) establecen que entre las ventajas de este modelo de abastecimiento se encuentran la reducción de costos administrativos y de inventario con las oportunidades que ello significa para la relocalización de capital de trabajo, Gonzalez-Benito (2002) sostiene que la implementación de un modelo de abastecimiento “Justo a Tiempo” no es aplicable en cualquier circunstancia y más aún que su implementación depende de factores particulares. Como línea de investigación futura, se plantea la posibilidad de verificar cuales son las características de los proveedores que en el momento del estudio realizaban entregas bajo el modelo “Justo a Tiempo” que les permiten tener un buen desempeño global y cuáles serían las condiciones necesarias para la adopción de este modelo por otros proveedores.

Con relación al tipo de línea de producción, el grupo de proveedores que suministran ensamblajes evidencian los mejores resultados, sin embargo, los proveedores de componentes de plástico y caucho presentan resultados cercanos. Además, aunque el tipo de abastecimiento predominante es el mensual, sus resultados en la clasificación por ranking y en las categorías no son sobresalientes, y más notorio es su alta participación en la categoría de desempeño general.

Por otra parte, la clasificación en la posición decimotercera del único proveedor “*Inhouse*” en el ranking y en la categoría 4, no es consecuente con las características de los atributos que se definieron como entradas y salidas, ni con la orientación del modelo hacia las entradas. Adicionalmente, como señala Dyer (1996), la especialización de los activos de los proveedores, entendidos éstos como la proximidad geográfica de sus plantas de producción a las instalaciones de los clientes, los bienes de capital y maquinaria específicos para la producción de sus clientes y el nivel de conocimiento de su personal para desarrollar relaciones a largo plazo, debe tener una relación positiva con el desempeño. Con el propósito de establecer el impacto que podría tener la especialización de los activos en el desempeño de los proveedores y en su posterior evaluación y clasificación, se propone como línea de

investigación futura la caracterización del nivel de especialización de los activos de los proveedores objeto de este estudio.

Al igual que sucede con la clasificación con base en el modelo de abastecimiento, la agrupación de acuerdo al tipo de línea de producción que atienden los proveedores, también poder ser punto de partida para una investigación posterior, con el ánimo de establecer cuáles son los rasgos propios y la influencia de los mismos en la evaluación y clasificación realizada a partir del modelo utilizado.

Si bien los resultados de la clasificación deben ser contextualizados con base en las características de cada proveedor y en las condiciones específicas de la relación entre la compañía ensambladora y los proveedores, se recomienda revisar con detalle la composición porcentual de la clasificación. Talluri et al. (2013) sugieren las siguientes estrategias y decisiones para cada una de las categorías la clasificación: los proveedores con desempeño superior conforman el 18% (6 proveedores) y siendo éstos quienes exceden en desempeño a los demás y poseen características únicas, son los candidatos para establecer relaciones de largo plazo, con la intención de formar una base de proveedores efectiva y diversificada para poder responder a las necesidades de abastecimiento actuales y futuras de la organización. Los proveedores tipo nicho y con desempeño general totalizan el 60% (20 proveedores); debido a que los primeros poseen algunas características únicas que los hacen superiores y los segundos se desempeñan bien frente a las fortalezas de los otros, algunos de estos proveedores podrían migrar a la categoría de desempeño superior, a través del desarrollo de iniciativas y la inversión de recursos para el mejoramiento. El estudio clasificó el 21% (7 proveedores) con desempeño inferior y son éstos los candidatos para ser retirados del portafolio de proveedores. En breve: pensado que los recursos para desarrollar los proveedores podrían ser limitados, el número de proveedores con desempeño superior es significativamente bajo con respecto a aquellos para los que se requieren recursos para ser desarrollados y más aún, el número de proveedores con desempeño inferior es similar a los que tienen desempeño superior.

Finalmente, debido a la naturaleza de algunos de los atributos definidos como entradas y salidas para el caso de estudio, algunos de ellos podrían considerarse como no discrecionales o no controlables, lo cual podría producir resultados diferentes en el modelo. Por lo tanto, se sugiere como línea de investigación posterior, la inclusión en el modelo matemático de esas características.

REFERENCIAS

- Ali, A.I., Cook, W.D. & Seiford, L.M., 1991. Strict vs Weak ordinal relations for multipliers in data envelopment analysis. *Management science*, 37(6), pp.733–739.
- Anderson, T.R., 2002. The Fixed Weighting Nature of A Cross-Evaluation Model. *Journal of Productivity Analysis*, 17, pp.249–255.
- Barla, S.B., 2003. A case study of supplier selection for lean supply by using a mathematical model. *Information Management*, 16(6), pp.451–459.
- De Boer, L., Labro, E. & Morlacchi, P., 2001. A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7(2), pp.75–89.
- Braglia, M. & Petroni, A., 2000. A quality assurance-oriented methodology for handling trade-offs in supplier selection. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 30(2), pp.96–111.
- Çelebi, D. & Bayraktar, D., 2008. An integrated neural network and data envelopment analysis for supplier evaluation under incomplete information. *Expert Systems with Applications*, 35(4), pp.1698–1710.
- Chan, F.T.S. & Kumar, N., 2007. Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *OMEGA – International Journal of Management Science*, 35(4), pp.417–431.
- Charnes, A., Cooper, W.W. & Rhodes, E., 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), pp.429–444.
- Cooper, W.W., Sam, K. & Gang, P., 1999. IDEA and AR-IDEA: Models for Dealing with Imprecise Data in DEA. *Management science*, 45(4), pp.597–608.
- Corbos, R. A., Zamfir, A., & Florea, A. I., 2013. Strategic Managerial Implications of Supplier Segmentation in the Current Competitive Environment.
- Degraeve, Z. & Roodhooft, F., 1998. Determining sourcing strategies: A decision model based on activity and cost driver information. *The Journal of the Operational Research Society*, 49(8), pp.781–789.
- Day, M., Magnan, G. M., & Moeller, M. M., 2010. Evaluating the bases of supplier segmentation: A review and taxonomy. *Industrial Marketing Management*, pp.39(4), 625–639.
- Doyle, J. & Green, R., 1994. Efficiency and Cross-Efficiency in DEA: Derivations, Meanings and Uses Published. *The Journal of the Operational Research Society*, 45(5), pp.567–578.
- Dyer, Jeffrey H, 1996. Specialized supplier networks as a source of competitive advantage: evidence from the auto industry. *Strategic Management Journal*, 17 pp.271–291.
- Dyer, Jeffrey H., Cho, D. S., & Chu, W., 1998. Strategic supplier segmentation: The next "best practice" in supply chain management. *California management review*, 40(2), pp.57–77.
- Elliott-Shircore, T.I. & Steele, P.T., 1985. Procurement Positioning Overview. *Purchasing and Supply Management*, December, pp.23–26.

- Ellram, L.M., 2005. Total cost of ownership: an analysis approach for purchasing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(8), pp.4–23.
- Falagario, M., Sciancalepore, F., Costantino, N., & Pietroforte, R., 2012. Using a DEA-cross efficiency approach in public procurement tenders. *European Journal of Operational Research*, 218(2), pp.523–529.
- Farzipoor Saen, R., Noorizadeh, A. & Mahdilo, M., 2013. Using DEA cross-efficiency evaluation for suppliers ranking in the presence of non-discretionary inputs. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 5(1), pp.95–111.
- Florez-Lopez, R., 2007. Strategic supplier selection in the added-value perspective: A CI approach. *Information Sciences*, 177(5), pp.1169–1179.
- Fullerton, R. R., & McWatters, C. S., 2001. The production performance benefits from JIT implementation. *Journal of operations management*, 19(1), pp.81-96.
- Garfamy, R.M., 2006. A data envelopment analysis approach based on total cost of ownership for supplier selection. *Journal of Enterprise Information Management*, 9(6), pp.662 678.
- Gelderman, C.J., 2003. A Portfolio Approach to the Development of Differentiated Purchasing Strategies. Doctoral dissertation, Eindhoven University of Technology.
- Gelderman, C. J., & Van Weele, A. J., 2005. Purchasing portfolio models: a critique and update. *Journal of Supply Chain Management*, 41(3), pp.19 28.
- Gencer, C. & Gürpınar, D., 2007. Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm. *Applied Mathematical Modeling*, 31(11), pp.2475–2486.
- Ghodsypour, S.H. & O'Brien, C., 2001. The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint. *International Journal of Production Economics*, 73(424), pp.15–27.
- Gregory, R.E., 1986. Source selection A matrix approach. *Journal of purchasing and materials management*, pp.24–28.
- Hadeler, B. J., & Evans, J. R., 1994. Supply strategy: capturing the value. *Industrial Management - Chicago Then Atlanta*, 36, pp.3 3.
- Hajidimitriou, Y.A. & Georgiou, A.C., 2002. A goal programming model for partner selection decisions in international joint ventures. *European Journal of Operational Research*, 138(3), pp.649–662.
- Ho, W., Xu, X. & Dey, P.K., 2010. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 202(1), pp.16–24.
- Holt, G.D., 1998. Which contractor selection methodology? *International Journal of Project Management*, 16(3), pp.153–164.
- Hong, G.H. et al., 2005. An effective supplier selection method for constructing a competitive supply-relationship. *Expert Systems with Applications*, 28(4), pp.629–639.
- Hou, J. & Su, D., 2007. EJB–MVC oriented supplier selection system for mass customization. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 18(1), pp.54–71.
- Huang, S.H. & Keska, H., 2007. Comprehensive and configurable metrics for supplier selection. *International Journal of Production Economics*, 105(2), pp.510–523.
- Hwang, H., Moon, D.H. & Shinn, S.W., 1990. An EOQ model with quantity discounts for both purchasing price and freight cost. *Computers & Operations Research*, 17(1), pp.73–78.

- Kotler, P., Wong, V., Saunders, J., & Armstrong, G., 2005. Principles of marketing (ed). Harlow: Pearson Education.
- Kraljic, P., 1983. Purchasing Must Become Supply Management. *Harvard Business Review*, 61(5), pp. 109–117.
- Lamberson, L.R., Diederich, D. & Wuori, J., 1976. Quantitative vendor evaluation. *Journal of Purchasing & Materials Management*, pp.19–28.
- Lee, H.L. & Rosenblatt, M.J., 1986. A generalized quantity discount pricing model to increase supplier's profits. *Management Science*, 32(9), pp.1177–1185.
- Liu, F.H.F. & Hai, H.L., 2005. The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier. *International Journal of Production Economics*, 97(3), pp.308–317.
- Lilliecreutz, J. & Ydreskog, L., 1999. Supplier Classification as an Enabler for a Differentiated Purchasing Strategy. *Global Purchasing & Supply Chain Management*, 11, pp. 66–74.
- Mahdiloo, M., Noorizadeh, A. & Farzipoor Saen, R., 2014. Benchmarking suppliers' performance when some factors play the role of both inputs and outputs A new development to the slacks-based measure of efficiency. *Benchmarking: An International Journal*, 21(5), pp.792–813.
- Mandal, A. & Deshmukh, S.G., 1994. Interpretive Structural Modelling (ISM). *International Journal of Operations & Production Management*, 14(6), pp.52–59.
- Monroy, L.G.D., 2002. *Estadística multivariada: inferencia y métodos*. Primera edición. U. N. de Colombia, ed., Bogotá: Panamericana Formas e Impresos.
- Montgomery, D.C., Runger, G.C. & Faris, N.H., 2002. *Descriptive Statistics*. Fourth edition. Jhon Wiley & Sons, ed., Arizona.
- Mummalaneni, V., Dubas, K.M. & Chao, C.N., 1996. Chinese purchasing managers' preferences and trade-offs in supplier selection and performance evaluation. *Industrial Marketing Management*, 25(1996), pp.115–124.
- Narasimhan, R., Talluri, S. & Mahapatra, S.K., 2006. Multiproduct, multicriteria model for supplier selection with product life-cycle considerations. *Decision Sciences*, 37(4), pp.577–603.
- Narasimhan, R., Talluri, S. & Mendez, D., 2001. Supplier evaluation and rationalization via data envelopment analysis: An empirical examination. *Journal of Supply Chain Management*, 37(2), pp.28–37.
- Olsen, R. F., & Ellram, L. M., 1997. A portfolio approach to supplier relationships. *Industrial marketing management*, 26(2), pp.101–113.
- Patton, W.E., 1996. Use of human judgment models in industrial buyers' vendor selection decisions. *Industrial Marketing Management*, 25(2), pp.135–149.
- Petroni, A. & Braglia, M., 2000. Vendor Selection Using Principal Component Analysis. *Journal of Supply Chain Management*, 36(May), pp.63–69.
- Ramanathan, R., 2007. Supplier selection problem: integrating DEA with the approaches of total cost of ownership and AHP. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(4), pp.258–261.
- Sarkar, A. & Mohapatra, P.K.J., 2006. Evaluation of supplier capability and performance: A method for supply base reduction. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 12(3), pp.148–163.
- Sarkis, J. & Talluri, S., 2002. A model for strategic supplier selection. *Journal of supply chain management*, 38(1), pp.18–28.

- Sexton, T.R., Silkman, R.H. & Hogan, A.J., 1986. Data envelopment analysis: Critique and extensions. *New Directions for Program Evaluation*, 32, pp.73–105.
- Sower, V.E., Abshire, R.D., Green, K.W. and Zelbst, P.J., (2010), "Relationships among market orientation, JIT, TQM and agility". *Industrial Management+Data Systems*, 110(5), pp. 637.
- Talluri, S., DeCampos, H.A. & Hult, G.T.M., 2013. Supplier Rationalization A Sourcing Decision Model. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 44(1), pp.57–86.
- Talluri, S. & Lee, J.Y., 2010. Optimal supply contract selection. *International Journal of Production Research*, 48(24), pp.7303–7320.
- Talluri, S. & Narasimhan, R., 2004. A methodology for strategic sourcing. *European Journal of Operational Research*, 154(1), pp.236–250.
- Talluri, S. & Narasimhan, R., 2005. A Note on "A Methodology for Supply Base Optimization." *IEEE Transactions on Engineering Management*, 52(1), pp.130–139.
- Talluri, S., Narasimhan, R. & Nair, A., 2006. Vendor performance with supply risk: A chance-constrained DEA approach. *International Journal of Production Economics*, 100(2), pp.212–222.
- Talluri, S. & Sarkis, J., 1997. Alternate Machine Component Grouping Solutions via Data Envelopment Analysis. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 44(3), pp.299–304.
- Thompson, K.N., 1990. Vendor Profile Analysis. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 26(1), pp.11–18.
- Timmerman, E., 1986. An Approach to Vendor Performance Evaluation. *Journal of Purchasing & Materials Management*, 22(4), pp.2–8.
- Van Weele, A.J., 2002. *Purchasing Management: Analysis, Planning and Practice*, 3rd ed., Chapman & Hall, London.
- Visani, F. et al., 2015. Supplier's total cost of ownership evaluation: a data envelopment analysis approach. *Omega*, pp.1–14.
- Weber, C.A., Current, J. & Desai, A., 2000a. An optimization approach to determining the number of vendors to employ. *Supply Chain Management: An International Journal*, 5(2), pp.90–98.
- Weber, C.A., Current, J. & Desai, A., 2000b. Vendor: A structured approach to vendor selection and negotiation. *Journal of Business Logistics*, 21(1), p.135.
- Weber, C.A., Current, J.R. & Benton, W.C., 1991. Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research*, 50(1), pp.2–18.
- Weber, C.A., Current, J.R. & Desai, A., 1998. Non-cooperative negotiation strategies for vendor selection. *European Journal of Operational Research*, 108(97), pp.208–223.
- Willis, H.T., Huston, R.C. & Pohlkamp, F., 1993. Evaluation measures of just-in-time supplier performance. *Production and Inventory Management Journal*, 34, pp.1–5.
- Wu, D. & Olson, D.L., 2008. Supply chain risk, simulation, and vendor selection. *International Journal of Production Economics*, 114, pp.646–655.
- Zhu, J., 2003. Imprecise data envelopment analysis (IDEA): A review and improvement with an application. *European Journal of Operational Research*, 144(2003), pp.513–529.

AGRADECIMIENTOS

A la organización Incolmotos Yamaha, a su gerente de producción Juan Carlos González y a su jefe de compras integración nacional Diego Armando Henao, por su amable disposición, amplia generosidad y alto profesionalismo para suministrar la información con la que se llevó a cabo el estudio y responder incondicionalmente a las inquietudes del autor de la tesis.

Al ingeniero y magíster en ingeniería Gabriel Esteban Hincapié, por el apoyo en el desarrollo de las herramientas computacionales para resolver los modelos matemáticos con los que se abordó el caso de estudio.

Al profesor Juan G. Villegas asesor de esta tesis de grado, quien además de sus directrices académicas y metodológicas, atendió con mucha paciencia y total comprensión, las limitaciones que el autor del estudio evidenció permanentemente en la ejecución de este proyecto

A PhD. Mario César Vélez, quien además de ser amigo de la vida y acompañarme personal y profesionalmente durante la maestría, habilitó la posibilidad de llevar a cabo el estudio en Incolmotos Yamaha.