

METODOLOGÍA MARCO DE REFERENCIA PARA LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES*

Rafael Guillermo García Cáceres**

Martha Patricia Caro Gutiérrez***

Héctor Bernardo Díaz Gómez****

Laura Leticia Sánchez Dávila*****

Martha Helena Carrillo Ramírez*****

Resumen: se expone el desarrollo teórico y práctico de un proceso metodológico que permite, de una manera secuencial, la búsqueda de los lugares candidatos a ser seleccionados como localizaciones posibles de instalaciones mediante procesos de toma de decisiones. El procedimiento que denominamos metodología marco hace parte de los desarrollos particulares de la Metodología de Análisis Integral (MAI) [García, Durand y Palacios, 2004] que se desarrolla en dos fases. La primera, de visualización del proyecto, es direccionada por dos criterios independientes co-

* Fecha de recepción: 3 de noviembre de 2004. Fecha de aceptación para publicación: 17 de diciembre de 2004. Este artículo es un resultado del proyecto de investigación denominado Localización óptima Multipropósito de Instalaciones bajo Incertidumbre, financiado por la Pontificia Universidad Javeriana y desarrollado por el grupo de investigación Logistikos de la Facultad de Ingeniería, grupo reconocido por Colciencias.

** Ingeniero industrial, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Magíster en Ingeniería Industrial y candidato de doctorado en Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes. Profesor Asistente, Departamento de Procesos Productivos, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana. Correo electrónico: rafael.garcia@javeriana.edu.co.

*** Ingeniera industrial, Pontificia Universidad Javeriana, Especialista y Máster en Logística Integral, Universidad Pontificia Comillas. Profesora Asistente, Departamento de Procesos Productivos, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana. Correo electrónico: mpcaro@javeriana.edu.co.

**** Ingeniero industrial, Pontificia Universidad Javeriana, Especialista en Finanzas, Colegio Mayor del Rosario, Doctor en Ciencias Empresariales, Universidad Pontificia Comillas. Profesor Asistente, Departamento de Procesos Productivos, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana. Correo electrónico: diaz@javeriana.edu.co.

***** Ingeniera industrial, Pontificia Universidad Javeriana, Especialista en Diseño y Gestión de Sistemas Logísticos, Escuela de Administración de Negocios. Profesora instructora, Departamento de Procesos Productivos, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana. Correo electrónico: lsanchez@javeriana.edu.co.

***** Ingeniera industrial, Especialista en Sistemas Gerenciales de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Máster en Logística Integral, Universidad Pontificia de Comillas. Profesora Asistente, Departamento de Procesos Productivos, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana. Correo electrónico: mcarrill@javeriana.edu.co.

respondientes a la evaluación de proyectos y el dimensionamiento, que operan transversalmente para facilitar la determinación y el levantamiento de la información de los aspectos relevantes. La segunda fase es la determinación de la red de posibilidades compuesta por tres etapas denominadas macro, micro y nanolocalización. El desarrollo teórico fue puesto a prueba por medio de una prueba piloto llevada a cabo en una reconocida empresa comercializadora de café en Colombia.

Palabras clave: toma de decisiones, localización de instalaciones, metodología de análisis integral.

Abstract: In this article a theoretical and practical development of a sequential decision making- methodology for choosing the optimal location of facilities is presented. The decision making process is part of the so-called Integral Analysis Methodology (MAI) [García, Durand, Palacios, 2004], which is divided into two different steps. The first one, the project visualization consists of two different criteria corresponding to the project evaluation and the project sizing applied to the determination of the relevant aspects of the decision making process. The second step is the determination of the set of possible sites of a facility, which is analyzed under three different points of view: the macro, the micro and the nanolocation process. The results of the application of the methodology in a colombian coffee chain are also presented.

Key words: Decision making, Facilities Location, Integral Analysis Methodology.

1. ANTECEDENTES

Entre las técnicas referenciadas para resolver el problema de localización de instalaciones se encuentra la simulación, la regresión logística y de Poisson [Figueiredo y Guimaraes, 2003], técnicas de optimización, heurísticas y meta heurísticas [Geoffrion y Powers, 1995], el método analítico jerárquico [Keeney y Raiffa, 1976], [Saaty, 1980], [Belton, 1986], [Steuer, 1986], [Watson y Buede, 1987], [Zeleny, 1990], [Vincke, 1992]; de más reciente aparición se encuentran las técnicas de tipo SMAA (*Stochastic Multiobjective Acceptability Analysis*) propuestas por Hokkanen, Lahdelma y Salminen y la Metodología de Análisis Integral (MAI) [García, Durand y Palacios, 2004]. Sin embargo, las técnicas no contemplan explícitamente una metodología que permita identificar los aspectos relevantes y el levantamiento de la información, lo que se presenta como una deficiencia manifiesta de la bibliografía. Este artículo presenta una propuesta que permite hacer un acercamiento a la solución de la problemática.

La propuesta se ha orientado siguiendo los pasos del método científico y pretende formular el problema de investigación en términos concretos y explícitos [Seltiz, 1976], [Hernández, 2000]. Es necesario definir criterios adecuados para poder plantear los problemas de investigación [Kerlinger, 1986] y así definir los insumos que alimentan cualquier técnica de toma de decisiones; para esto, se han planteado perspectivas basadas en técnicas de evaluación de proyectos que buscan el beneficio económico, financiero y social del estudio [Sapag, 2000].

El estudio de la mercadotecnia considera que la oferta y la demanda de los bienes se deben dimensionar en un ambiente geográfico [Cateora, 1996], que permita establecer los segmentos de mercados que determinen los nichos específicos de proveedores y clientes [Lamb, Hair y MacDaniel, 1996] para definir la ubicación de las instalaciones.

El procedimiento permite una adecuada planeación, programación y control de los recursos [Kerzner, 2001] facilitando el análisis de las diferentes perspectivas del entorno social con que será afectada la nueva instalación [Fontaine, 1999]. Adicionalmente, propone una utilización oportuna de los recursos económicos y financieros que permitan su desarrollo y la optimización de las medidas de selección comúnmente relacionadas con el criterio de costo-beneficio o el retorno de la inversión [Mallo, 2000] que dependen del entorno geográfico, la disponibilidad de oferta y la demanda de los clientes [Sule, 2001].

La Metodología de Análisis Integral (MAI) [García, Durand y Palacios, 2004] busca resolver de manera óptima problemas multiobjetivo cuando existen varios decisores que no están dispuestos o en posición de dar su opinión a priori. La técnica contempla el desarrollo o la aplicación de metodologías marco para establecer los insumos de su modelaje matemático, que para el caso corresponde al establecimiento de la red de posibles sitios de ubicación de instalaciones con su información relevante, como desarrollo estratégico para hacer más eficiente su cadena de valor [Porter y Fuller, 1986].

La primera fase de la metodología propone la visualización del proyecto de localización de una instalación bajo la perspectiva de analizar los criterios de dimensionamiento y de evaluación de proyectos. El dimensionamiento se divide en la perspectiva de escala y enfoque, mientras que el criterio de evaluación de proyectos se compone de las perspectivas social, económica y financiera.

Como resultado de la interacción de las perspectivas, surge la determinación de los aspectos relevantes para la segunda fase, correspondiente a la determinación de la red de posibilidades. En la primera etapa de la red, denominada macrolocalización, se determina el enfoque del proyecto partiendo del más amplio concepto de escala geográfica, en la cual se evalúan factores relevantes para obtener la primera aproximación al conjunto de zonas posibles. La segunda etapa, denominada microlocalización, permite obtener, dentro de las zonas escogidas, sectores caracterizados por un lugar de referencia; en ambas fases es común utilizar factores que operacionalizan aspectos obtenidos comúnmente con información secundaria y por opinión de expertos. En la etapa final, denominada nanolocalización, se especifican los puntos de ubicación de las instalaciones dentro de los sectores estudiados mediante variables cuya información es recopilada comúnmente por medio de fuentes de información primaria.

La metodología ofrece en forma detallada el procedimiento requerido para estimar la oferta, la demanda, las capacidades y los costos de transporte, de manipulación y el costo fijo de posesión y de operación, ya sea con recursos propios o prestados por terceros.

Con el fin de establecer la validez de la metodología, se realizó una prueba piloto en una empresa del sector industrial y comercial de productos derivados del café, cuyos directivos tenían dificultades permanentes para determinar la mejor ubicación de las denominadas barras de café de calle en la ciudad de Bogotá. Como resultado de la metodología propuesta, se determinó una red de posibilidades compuesta por diez lugares que satisfacían los requerimientos exigidos para la ubicación de barras de café.

2. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

La localización de instalaciones constituye una decisión de tipo estratégico para la empresa, que compromete los recursos durante largo tiempo. El proceso metodológico propuesto tiene principal importancia y merece que se desarrolle con rigor para alcanzar el cumplimiento de los objetivos de rentabilidad de la inversión, de alineación entre la localización y la actividad económica y de proyección hacia el futuro [Tompkins, 1996].

Por otro lado, se pretende que los insumos para la solución del problema de localización cumplan con los requisitos de *pertinencia*, referida a la justificación del aporte conceptual que tiene un aspecto en la solución de un problema; de *independencia*, cuyo concepto relaciona la claridad con que los aspectos son definidos, de tal forma que éstos no posean dimensiones que estén intersecadas; de *confiabilidad*, que hace referencia al grado en que la medición está libre de error y valore su consistencia interna [Kerlinger, 1986]; y de *validez*, que busca la precisión del instrumento de medición [Albaum, 1997].

2.1. VISUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

La primera parte de la metodología marco consiste en la visualización del proyecto. Para su desarrollo se plantearon dos criterios que ayudan a abordar el problema: evaluación de proyectos y dimensionamiento.

2.1.1. CRITERIO DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Se soporta en el hecho de que la evaluación de una localización depende de la actividad social, económica, su condición tecnológica y su volumen operativo [Tompkins, 1996], que se enmarca en tres perspectivas: social, económica y financiera:

- **Perspectiva social:** analiza el impacto que tendrá la posibilidad de localización sobre la sociedad y viceversa. Los aspectos relevantes, en esta materia, a una localización son:
 - ✓ **Ecológico:** se refiere a los efectos del proyecto sobre el medio ambiente como la población, la fauna, la vegetación y el paisaje en el área de influencia.
 - ✓ **Empleabilidad:** implica la generación o reducción potencial de empleo que se producirá con el montaje y desarrollo de la nueva instalación.

- ✓ **Salubridad:** entendido como las condiciones mínimas necesarias del medio ambiente y de las condiciones endémicas (humedad, temperatura, plagas, enfermedades, etc.) propias de la región considerada, que afectan la salubridad de las personas.
- ✓ **Seguridad:** evalúa los indicadores gubernamentales, la percepción de los clientes potenciales y tiene en cuenta, también, los sobrecostos operativos que pueden llegar a generarse por alcanzarla.
- ✓ **Psicosocial, cultural, y socio-económico:** están en concordancia con las características de la población potencial asociada al tipo de negocio.
- ✓ **Legal:** implicaciones legales asociadas a las condiciones del negocio. Entre éstas se encuentran: permisos de funcionamiento, restricciones de operatividad, etc, que pueden provenir de normatividad ecológica, territorial, de salud, urbanística, etc.
- ✓ **Entorno:** corresponde a las características socioeconómicas, ambientales y geográficas del sector, relacionadas directamente con el perfil del cliente o la política del negocio, el paisaje, la distancia a lugares de interés, el tamaño del lugar, la visualización del mismo, las características de los sitios de su vecindad, etc.
- **Perspectiva económica:** tiene en cuenta tanto los aspectos macroeconómicos como microeconómicos relacionados con el posible lugar de localización. Bajo esta perspectiva se analizan los siguientes aspectos:
 - ✓ **Desarrollo:** evalúa consideraciones tales como el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), condiciones laborales, inflación, incentivos tributarios, etc. Desde el punto de vista microeconómico considera la elasticidad precio de los productos, los costos de transacción, el *dumping*, entre otros.
 - ✓ **Infraestructura:** hace referencia a las condiciones de las vías, servicios públicos, transporte multimodal, adecuación del lugar al estilo del negocio, comunicaciones, etc, consideradas relevantes tanto para la construcción del sitio como para su operación.
 - ✓ **Perfil profesional:** relaciona la experiencia del personal al que se puede acceder en la localización y su correspondencia con las necesidades del negocio. Esto se aplica principalmente a negocios con alto nivel de complejidad en términos de competencia profesional, como empresas de servicios especializados y de tecnología de punta.
 - ✓ **Competencia:** teniendo como referencia las políticas de la empresa, este aspecto evalúa las características de cercanía a sitios similares de la competencia; en un momento determinado se puede estar interesado en dicha cercanía con el fin de compartir y atrapar mercados de preferencia, en lugar de buscar lugares no explorados que deben ser colonizados o desarrollar una actitud indiferente frente a este aspecto.
 - ✓ **Demanda:** evalúa si la posibilidad de localización cuenta con la demanda potencial necesaria para lograr la sostenibilidad del nuevo establecimiento en el horizonte de tiempo definido para el

proyecto, tanto en cuanto al número de clientes, como a su nivel de ingresos.

- ✓ **Oferta:** tiene en cuenta si la posibilidad de localización cuenta con la provisión potencial apropiada para el nuevo establecimiento en el horizonte de tiempo definido por el proyecto y satisface las condiciones determinadas por la empresa en términos de calidad, precio y entrega (*lead time* de pedido). La oferta es crítica en términos de producción, es decir, si la provisión de alguno de los insumos no resulta la adecuada para las necesidades de la empresa, el sitio de posible localización no es considerado.
- ✓ **Legal – regulatorio:** hace referencia a los acuerdos internacionales donde se analizan asuntos como cuotas comerciales, aranceles, restricciones, precios de transferencia, etc.
- **Perspectiva financiera:** finalmente, dentro del criterio de evaluación de proyectos se analiza esta perspectiva, bajo la cual se busca que la posibilidad de localización cumpla con ciertas condiciones mínimas de *rentabilidad*, *ingresos* o *costos* en el tiempo, definidas previamente por los responsables del proyecto.

La Tabla 1 presenta un resumen de los aspectos evaluados en cada una de las perspectivas de la visualización del problema.

Tabla 1. Resumen de visualización del problema

| | | | |
|-------------------------|--|-----------------------|------------------------------------|
| Evaluación de proyectos | Perspectiva social | Perspectiva económica | Perspectiva financiera |
| | Ecológico | Desarrollo | Rentabilidad |
| | Empleabilidad | Infraestructura | Costos de transporte |
| | Salubridad | Perfil profesional | Costo de manipulación |
| | Seguridad | Competencia | Costo fijo de posesión y operación |
| | Psicosocial, cultural, y socio económico | Demanda | |
| | Legal | Oferta | |
| | Entorno | Legal - regulatorio | |

Fuente: los autores.

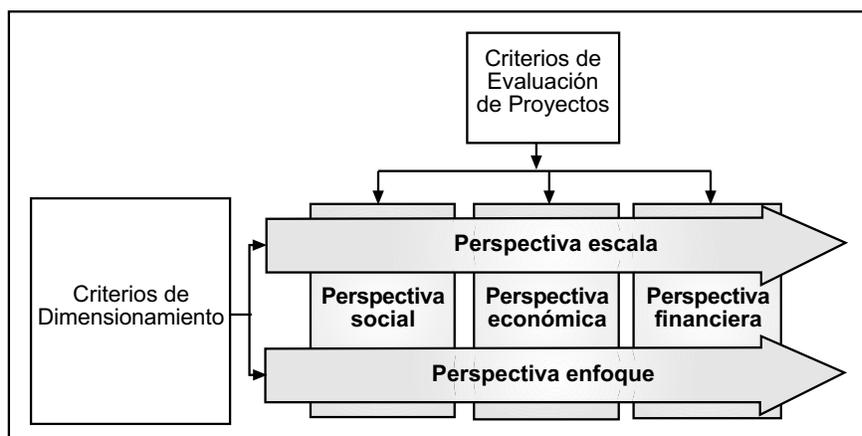
2.1.2. CRITERIO DE DIMENSIONAMIENTO

Este criterio afecta de manera transversal a cada uno de los aspectos definidos por el criterio de evaluación de proyectos, precisándolos y dándoles la dimensión adecuada a través de las perspectivas de escala y enfoque (Figura 1).

- **Perspectiva de escala:** se define como el alcance geográfico del proyecto de localización [Cateora, 1996]. Las consideraciones de los cinco niveles de escala encontrados tienen sus propias características diferenciadoras y se refieren a [Sule, 2001]:
 - ✓ Escala Layout: pisos de plantas, bodegas o almacenes, etc.

- ✓ Escala Ciudad: distritos, localidades, estratificación urbana, etc.
- ✓ Escala País: desde regiones, Estados, departamentos, condados hasta distritos o localidades.
- ✓ Escala Continental: desde países discriminados en regiones, Estados, departamentos, condados, hasta distritos o localidades.
- ✓ Escala Global: desde continentes hasta países discriminados en regiones, Estados, departamentos, condados, hasta distritos o localidades.

Figura 1. Visualización del proyecto de localización



Fuente: [García et al., 2004].

- **Perspectiva de enfoque:** determina si el proyecto está direccionado hacia la oferta o hacia la demanda [Zeleny, 1990], de acuerdo con la relevancia que tiene para la posible ubicación su cercanía al cliente o al proveedor, lo cual depende de la actividad económica que desarrolle; por ejemplo, en el caso de localización de empresas industriales de transformación o explotación de recursos naturales primarios es fundamental la cercanía a la provisión de recursos o de materias primas como agua, minerales, alimentos vegetales o animales, energía y recursos humanos. Por el contrario, para el caso de localización de un punto de venta de cualquier tipo de artículo o servicio masivo o poco especializado es predominante la cercanía de la nueva posibilidad de localización al mercado objetivo, el cual se encuentra determinado por la concordancia del perfil del cliente con el tipo de negocio.

2.2. LA CONSTRUCCIÓN DE LA RED DE POSIBILIDADES

El paso siguiente en la metodología marco es la determinación de la red de posibilidades que es el conjunto de localizaciones que reúnen los aspectos considerados relevantes para el negocio en cada una de las etapas de decisión.

2.2.1. ETAPA DE MACROLOCALIZACIÓN

Esta etapa busca una primera aproximación geográfica del proyecto de localización, teniendo como insumo los criterios de evaluación de proyectos, operacionalizados a través de factores que tienen carácter crítico y que están basados, normalmente, en información secundaria. Uno de estos factores es una tabla Likert dummy con dos categorías de aceptación y rechazo [Churchill, 1979], [Espinosa y Galán, 1998]. El resultado de esta etapa es la selección de las zonas, que son áreas geográficas delimitadas por la escala, que cumplen con todos los aspectos considerados relevantes en esta etapa (Tabla 2).

Tabla 2. Tabla Likert de macrolocalización

| Zona | Perspectiva | Aspectos i | Factor i= F _i | |
|------|-----------------------|------------|--------------------------|-----------------------------------|
| | | | Condición de aceptación | Condición de rechazo |
| | Social | Aspecto 1 | | |
| | | Aspecto 2 | | |
| | | | | |
| | Económica | Aspecto 1 | | |
| | | Aspecto 2 | | |
| | | . | | |
| | Financiera | Aspecto 1 | | |
| | | Aspecto 2 | | |
| | | . | | |
| | Evaluación de la zona | | | $\prod_i \text{Estatus}(F_i) = 1$ |

Fuente: [García, et al., 2004]

2.2.2 ETAPA DE MICROLOCALIZACIÓN

Esta etapa determina, dentro de las zonas preestablecidas, los sectores que por sus características se adaptan al objeto del estudio. Se entiende por *sector* al conjunto de cuadras y calles ubicadas dentro de las zonas previamente establecidas, referenciadas por un centroide dominante o lugar de referencia [Chasco, 2000] cuya área depende del tipo de negocio.

Los lugares de referencia son aquellos sitios cuya actividad promueven una provisión o demanda permanente durante el horario laboral; éstos pueden ser conglomerados cuando incluyen varios lugares de referencia con una distancia entre sí inferior a 100 metros. En caso de que varios lugares de referencia conglomerados o simples compitan por ser centroide del sector, se escoge uno solo de ellos teniendo en cuenta la perspectiva enfoque. Para el caso de enfoque hacia la demanda, los posibles sitios se

encontrarán cercanos a las vías principales de acceso peatonal, no mas allá de dos cuadras a la redonda con el fin de asegurar un tráfico significativo. Algunos ejemplos de lugares de referencia asociados a este enfoque son restaurantes, bancos, cafés, zonas empresariales, funerarias, centros comerciales, supermercados, universidades, clínicas o centros de salud, talleres, plazas de mercado, etc. Si el enfoque es hacia la oferta, los posibles sitios se encontrarán cercanos a las vías principales de acceso vehicular, las cuales tienen que ser suficientes y adecuadas al tamaño de la operación logística de carga y descarga, tales como zonas francas, puertos, zonas industriales, centros tecnológicos, etc.

En esta etapa se definen los aspectos en forma similar a la etapa de macrolocalización, pero de una manera más específica. La tabla Likert asociada, similar a la de la etapa de macrolocalización, hace referencia a los sectores analizados.

2.2.3 ETAPA DE NANOLocalIZACIÓN

Esta etapa establece los puntos posibles de localización que conformarán la red de posibilidades. Al igual que en las etapas previas, se hace uso de los criterios metodológicos que, al ser más específicos, utilizan cada vez más información primaria para la obtención de los aspectos. Debido al nivel de detalle requerido la operacionalización de los aspectos, en esta etapa, se realiza mediante el análisis de variables.

- **Variables cualitativas:** una variable cualitativa se define como aquella que no es medible directamente; sin embargo, para el caso pueden tener esta condición aquellas variables que se pueden colocar en términos de la medida de desempeño a optimizar. Estas variables se miden con tablas Likert de escalas ordinales que como regla práctica deben tener entre tres y diez categorías y preferiblemente un número impar de ellas [Albaum, 1997], [Torres, García y Quintero, 2005] (Tabla 3).

Tabla 3. Tabla Likert de Nanolocalización

| | | Aspectos | Variable | | | | |
|-------|------------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------|-------------|--|
| | | | Categoría 1 | Categoría 2 | | Categoría n | |
| Acera | Perspectiva Social | Aspecto 1 | | | | | |
| | | Aspecto 2 | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | Perspectiva Económica | Aspecto 1 | | | | |
| | | | Aspecto 2 | | | | |
| | | | . | | | | |
| | Perspectiva Financiera | Aspecto 1 | | | | | |
| | | Aspecto 2 | | | | | |
| | | . | | | | | |

Fuente: [García, et al., 2004].

- **VARIABLES CUANTITATIVAS:** las variables cuantitativas son aquellas que pueden medirse directamente y que buscan ser optimizadas. Dentro de las más comunes se encuentran la demanda, la oferta, los costos, los precios, los ingresos y las utilidades.

La *oferta* se determina a partir de la información suministrada por los proveedores de cada producto y está representada por el acuerdo de volumen del producto con el proveedor, cuyo contrato está supeditado a la confiabilidad, representada en términos de tiempos de entrega, calidad de la mercancía y el cumplimiento de las cantidades. La oferta debe estar desagregada en lo posible por artículo o *Stock Keep Units* (SKUs).

La *demanda* se determina por medio de una investigación de mercado en el sector de influencia si se trata de niveles de escala superiores a *layout*, en cuyo caso se llevan a cabo las mediciones pertinentes a la medida de desempeño establecida en el piso de la planta; éstas pueden corresponder al número de operaciones o de movimientos. La demanda debe estar desagregada en lo posible por artículo o SKUs.

Con base en el trabajo de Geoffrion y Graves [1974], los costos incluyen el transporte, la manipulación y el costo fijo de posesión y operación. Estos costos suelen tener diferente tratamiento dependiendo si las operaciones asociadas son realizadas directamente o por terceros. El *costo de transporte* depende del modo y del tipo de producto a manipular. Se maneja por unidad de peso o por volumen y requieren la clara definición de la unidad de carga de manera que se optimice el aprovechamiento del espacio en el vehículo. Cuando se trata de transporte propio es necesario cuantificar el costo fijo y el variable. El costo variable cambia de acuerdo con la unidad de peso o volumen escogida por kilómetro recorrido, medidos por el consumo de combustible, llantas, lubricantes, filtros, mantenimiento y reparaciones, lavado y engrase y comisión del conductor. El *costo fijo* es aquel que no varía durante el período de estudio sin importar la cantidad de viajes realizados entre la planta y los posibles centros de distribución, ni las unidades transportadas en ellos. Éstos se componen de la mano de obra, la depreciación, el impuesto de rodamiento, el parqueo, los seguros, los gastos de administración y los imprevistos.

El *costo de manipulación* corresponde al manejo o transformación de las mercancías dentro de las instalaciones en el proceso de entrega del producto al cliente final. Cuando sólo hay manipulación se reduce al costo de cargar, descargar y mantener la mercancía en la instalación, desde el momento en que llega de la planta hasta que se le entrega al cliente que lo demanda en el sector. En caso de realizarse un proceso de transformación, los almacenes de acopio de mercancías son utilizados, en ocasiones, para elaborar procesos sencillos como lavado, seleccionado y empaque de productos perecederos, empaque de granos u otros productos a granel, con el fin de utilizar el tamaño de estas instalaciones en procesos que ocupan mucho espacio. Este servicio se puede realizar con recursos propios o de terceros. En el primer caso se tendrán como costos variables, la mano de obra, los materiales e insumos. Por el contrario, si se contrata el ser-

vicio de manipulación y transformación con una compañía externa se pagará una tarifa por la unidad de producto escogida.

El costo de operación y posesión se relaciona con la estructura física que debe tener la instalación para soportar la capacidad de almacenamiento establecida por la demanda del sector, ya sea con infraestructura propia o tomada en arriendo. Se compone de los costos de equipos propios, tales como estantería, estibas, montacargas y similares, equipos de cómputo, *software*, etc., los cuales deben estar definidos por la máxima capacidad estadística establecida por la demanda y por los costos de bodega [Mallo y Kaplan, 2000].

Si la bodega donde funcionará el almacén se compra construida se incluirá en su valor, para efectos del cálculo de los costos, todos los gastos de adecuación necesarios para su normal funcionamiento. En caso de que sea necesario construirla se tomará el presupuesto total de obra. Adicionalmente, se tendrán en cuenta como costos fijos de operación los siguientes: nómina administrativa, mantenimiento, seguros, gastos legales e impuestos, gastos generales de funcionamiento e imprevistos.

En caso de entregar las actividades de operación o posesión a terceros se puede acceder a diferentes modalidades, donde empresas especializadas en operaciones logísticas pueden ofrecer el servicio integrado del arrendamiento de las instalaciones con todos los aditamentos de infraestructura necesarios para su normal funcionamiento; en esta modalidad, el costo a considerar será el del canon fijo de arrendamiento.

3. APLICACIÓN DE LA PRUEBA PILOTO Y RESULTADOS OBTENIDOS

Con el fin de aplicar la metodología referida, se seleccionó una empresa del sector industrial y comercial de alimentos, específicamente de productos derivados del café. La empresa experimenta permanentes dificultades en la localización de las denominadas barras de café de paso, por la complejidad y por el riesgo financiero que representa la toma de la decisión debido al importante monto involucrado en la inversión que es efectuada tradicionalmente mediante crédito.

3.1. VISUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

La medida de desempeño de las localizaciones está dada por la rentabilidad de las barras de café de paso. Sin embargo, varios aspectos considerados como relevantes durante las tres fases de decisión no pueden ser expresados en términos financieros y para ser considerados tienen que ser valorados de manera cualitativa.

Desde el punto de vista del criterio de dimensionamiento el problema está enmarcado en una escala ciudad. A su vez, el negocio se encuentra enfocado hacia la demanda, ya que no es importante la distancia entre la ubicación de los proveedores y la nueva localización debido a que las dos plantas de producción son de propiedad de la em-

presa y la forma de contratación del transporte es a través de terceros, lo que se traduce en un costo marginal por localización decreciente y reducido.

3.2. DETERMINACIÓN DE LA RED DE POSIBILIDADES

3.2.1. LA FASE DE MACROLOCALIZACIÓN

Desde el punto de vista del *criterio de evaluación de proyectos* se descartó, para esta fase de la prueba piloto, la *perspectiva financiera* porque los datos disponibles sólo se desarrollan en lo correspondiente a la etapa de nanolocalización, es decir, en función de la ubicación en una acera. Bajo la *perspectiva social* se definieron como aspectos relevantes *las regulaciones gubernamentales, el entorno y la seguridad*, mientras bajo la *perspectiva económica* se incluyó el aspecto *demanda* representado en la percepción del tráfico.

Las regulaciones gubernamentales, en este caso las emanadas del Departamento Administrativo de Planeación Distrital, restringen las zonas seleccionadas en Bogotá a aquellas señaladas como comerciales e industriales. El potencial de la zona se tuvo en cuenta en el aspecto de la demanda.

El perfil de cliente típico de la barra de café de paso corresponde a estudiantes o amas de casa mayores de 19 años de estrato socio-económico 4, 5 o 6 y empleados o trabajadores independientes mayores de 19 años de estrato socio-económico 4, 5 o 6 con ingresos mensuales superiores a dos salarios mínimos. Adicionalmente, como características generales del sector se analizó el *entorno* y se determinó que en la zona no deben haber lugares tales como restaurantes populares, talleres, plazas de mercado y, en general, establecimientos que no se adecuen a las políticas del negocio. Teniendo en cuenta estos criterios se midió el tráfico peatonal de los clientes típicos como una medida del potencial de las zonas estudiadas [Sánchez, 2003].

Finalmente, se estudió el aspecto de *seguridad* asociado tanto con la percepción de los encargados de realizar la decisión de localización, como de índices referentes al número de hurtos a personas y a establecimientos reportados por las autoridades competentes.

Como resultado de esta fase, se seleccionaron once zonas correspondientes a la mejor ubicación en cada una de las once localidades seleccionadas de las veinte que conforman la división político-administrativa de la ciudad. El proceso de decisión desarrollado se hizo mediante el procedimiento presentado en la Tabla 2, de manera que las zonas seleccionadas cumplieran a cabalidad con todos los aspectos considerados relevantes en la etapa.

3.2.2. LA FASE DE MICROLOCALIZACIÓN

Los aspectos considerados relevantes en esta fase corresponden a la *perspectiva social y económica*. En cuanto a la de la perspectiva social se

consideraron los aspectos de *seguridad, psicosocial, cultural y socio-económico*, mientras que en la *perspectiva económica* se analizó la *demanda*.

Entre los lugares de referencia que competían entre sí, es decir, aquellos que se encontraban en un radio de 600 metros del centroide seleccionado, se escogió aquel que maximizara el tráfico peatonal de los clientes; de esta manera se aseguraba la independencia entre las demandas de cada sector [Sánchez, 2003]. Como resultado del proceso de microlocalización se seleccionaron las diez zonas que presentaron el mayor número de clientes potenciales. El procedimiento permite realizar una investigación más profunda del mercado; sin embargo, dado su costo respecto a la utilidad de la inversión ésta puede resultar poco conveniente. De manera similar a la etapa anterior el proceso de decisión desarrollado se hizo mediante una tabla Likert similar a la presentada en la Tabla 2, de manera que los sectores seleccionados cumplieran completamente con todos los aspectos considerados como relevantes en la microlocalización.

3.2.3. LA FASE DE NANOLocalIZACIÓN

En esta fase se consideraron tres categorías ordinales para las variables tomando como referencia el estudio de Lahdelma, Hokkanen y Salminen [2002], ajustado mediante una modificación en la operacionalización de las condiciones extremas de algunos aspectos considerados como factores críticos.

Los aspectos considerados como relevantes en esta etapa incluyeron las perspectivas social, económica y financiera. Bajo la perspectiva social se analizó el entorno; en la perspectiva económica se tuvo en cuenta la demanda y la oferta y en la perspectiva financiera, los costos y la rentabilidad.

La *demanda* en esta fase se refiere al número de transacciones potenciales promedio mensual. Para su estimación se utilizó un muestreo aleatorio simple para poblaciones infinitas, debido a que no se encontraron grupos o estratos dentro de los sectores que sugirieran otra técnica de muestreo. Para un error del 10% y un nivel de confianza del 95%, se calculó una muestra máxima de 67 encuestas por sector [Kotler, 1998]. Las encuestas se aplicaron aleatoriamente a los transeúntes que componían el tráfico de las aceras con mayor afluencia en cada uno de los sectores en un día seleccionado como de demanda típica. Finalmente, para el cálculo de la demanda se dividió el valor estimado entre el número de establecimientos de la competencia más uno. De acuerdo con las políticas del negocio, se entiende por competencia únicamente establecimientos del tipo barras de café o cafés. Para determinar la red de posibilidades se seleccionó la acera dentro del sector que tuviera la mayor afluencia de los clientes potenciales.

De otra parte, las consideraciones gerenciales de apoyo a la decisión de tipo *cuantitativo* están caracterizadas por la satisfacción de ciertos estándares de *costeo e ingresos* que, de acuerdo con la experiencia,

determinan el éxito de la ubicación de una barra de café de paso. No se encontró una contabilización de los costos del negocio lo suficientemente detallada, por lo que el análisis de los costos se limitó a los costos variables y fijos. Al no poder realizar una estimación contable por producto, fue posible solamente el cálculo de un costo e ingreso promedio por transacción contable. Por esta razón los costos, al igual que la demanda, fueron considerados de naturaleza estocástica. En este sentido, bajo la *perspectiva financiera* se consideraron costos y razones porcentuales de *rentabilidad* tales como costo total sobre ingreso total, porcentaje máximo costo de posesión sobre ingreso total, ingreso unitario por transacción, costo unitario por transacción, costo de depreciación promedio de montaje mensual de la instalación y costo fijo mensual promedio de posesión de la instalación. Finalmente, no se consideró la oferta debido a que la provisión es propia y se considera suficiente.

Se calcularon los valores máximos y mínimos de los parámetros estocásticos de *costo de posesión*, *utilidad por transacción e ingreso por transacción*. A estos tres valores se les asoció una variable aleatoria uniforme debido a la imposibilidad de conocer su distribución de probabilidad asociada.

Los *aspectos cualitativos* que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del estudio en esta fase se operacionalizaron como variables y se definieron bajo las perspectivas social y económica; bajo la primera, en el aspecto *entorno* se identificaron las variables de visibilidad y distancia al lugar de referencia [Colomé y Serra, 2000]. Desde la segunda perspectiva, se definió el *tamaño* del local. La calificación de estas variables se efectuó en correspondencia con las políticas de la empresa y la definición del perfil del cliente [Sánchez, 2003]. A continuación se definen las variables que componen el aspecto de entorno para la fase de nanolocalización.

- **Visibilidad:** hace referencia al número de accesos de observación del negocio. Esta variable se operacionalizó mediante una tabla Likert ordinal de cuatro estados que se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Tabla Likert de calificación de visibilidad

| Criterio | Calificación |
|---------------------------|----------------|
| Cuatro accesos diferentes | 1 |
| Tres accesos diferentes | 2 |
| Dos accesos diferentes | 3 |
| Un acceso | Factor crítico |

Fuente: [García, et al., 2004].

- **Distancia al lugar de referencia:** corresponde a la distancia lineal entre el local y el lugar de referencia. La Tabla 5 muestra la escala de valor definida y utilizada para calificar esta variable [Colomé y Serra, 2000].

Tabla 5. Tabla Likert de calificación de distancia

| Escala de valor | 1 | 2 | 3 |
|-----------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Característica | de 50 a 150 metros | de 151 a 250 metros | de 251 a 300 metros |

Fuente: [García, et al., 2004].

- **Tamaño del local:** de acuerdo con las políticas de la empresa, el tamaño del local debe ser mínimo de 12 metros cuadrados y máximo de setenta metros cuadrados. Debido a las restricciones para determinar, con el mayor detalle posible, el tamaño del local se diseñó un procedimiento para realizar una estimación aproximada de la capacidad mensual de atención de clientes. Mediante observación de varias barras de café de paso existentes se supuso un área cuadrada del local y una distancia aproximada entre mesas de 60 centímetros. Adicionalmente, se tomó como tiempo de transacción, de acuerdo con datos estadísticos de la empresa, el tiempo promedio que un cliente demora en una barra de café de paso que es de 15 minutos [Sánchez, 2003]. Finalmente, se pudo determinar, por observación, que se utilizaba al máximo el espacio de las paredes libres de los locales y que corresponde a geometrías en forma de L .

Para realizar los cálculos correspondientes se estimó, inicialmente, el número de sillas que puede tener un local de acuerdo con la geometría especificada:

$$S = \frac{2\sqrt{A}}{0,6} = \frac{2L}{0,6} \quad (1)$$

Donde:

S : número de sillas.

L : longitud del lado del local [m].

A : área estimada [m²]

La capacidad del local C para un período promedio de atención se define como el número de transacciones diarias en capacidad de ser atendidas en un local y se obtiene al multiplicar el número de sillas por los espacios de quince minutos en el horario laboral de doce horas, entre las ocho de la mañana y las ocho de la noche [Sánchez, 2003], en un periodo mensual de cuatro semanas de seis días laborales:

$$C = \frac{S * 12 * 60}{15} * 4 * 6 \quad (2)$$

La ecuación (2) fue aplicada para los locales seleccionados teniendo como referencia la oferta de la competencia en los sectores aledaños. Para calcular la capacidad del local del sector se estimó el promedio de área, lo que servirá, al igual que los costos e ingresos, como dato de entrada al modelo de programación matemática contemplado en el MAI [García, Durand y Palacios, 2004].

Como las áreas implican costos administrativos difíciles de calcular se consideró importante hacer una estimación cualitativa del tamaño del local. El tamaño no debe ser tan pequeño que satisfaga escasamente la demanda, ni tampoco tan grande que haga ineficiente la operación por los altos costos fijos de arrendamiento. La consulta con los directivos de la empresa permitió definir la escala para el cociente (F) entre la demanda y la capacidad del local que se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Tabla Likert de calificación del tamaño a partir de la relación entre la demanda real D y la capacidad del local

| Calificación de variable tamaño | Calificación |
|---------------------------------|----------------|
| Si $F < 1$ | Factor Crítico |
| Si $1 \leq F < 2$ | 1 |
| Si $2 \leq F < 3$ | 2 |
| Si $F \geq 3$ | 3 |

Fuente: [García, et al., 2004].

El número de localizaciones seleccionadas se redujo finalmente a nueve, después de descartar uno de ellos debido a la imposibilidad de recolectar información como consecuencia de trabajos en las vías públicas que imposibilitaban el acceso. La Tabla 7 presenta los resultados de la metodología marco para cada uno de los sectores seleccionados.

Tabla 7. Calificación de la red de posibilidades

| Sector | Visibilidad | Distancia | Tamaño | Costo de posesión del local i | Capacidad del local i (transacciones) | Demanda del sector i (transacciones) |
|--------|-------------|-----------|--------|---------------------------------|---|--|
| 1 | 1 | 2 | 2 | \$ 432.333 | 12.144 | 4.313 |
| 2 | 2 | 3 | 2 | \$ 2'232.727 | 18.480 | 7.410 |
| 3 | 2 | 1 | 2 | \$ 1'820.937 | 24.151 | 5.706 |
| 4 | 1 | 1 | 3 | \$ 1'220.003 | 26.009 | 1.520 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | \$ 1'075.931 | 20.944 | 6.033 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | \$ 827.138 | 29.920 | 27.770 |
| 7 | 1 | 1 | 1 | \$ 1'292.404 | 36.920 | 25.262 |
| 8 | 2 | 1 | 3 | \$ 385.397 | 14.960 | 484 |
| 9 | 1 | 2 | 2 | \$ 2'112.729 | 25.960 | 5.460 |

Fuente: [García, et al., 2004].

En la Tabla 8 se presentan, finalmente, los parámetros estocásticos adicionales involucrados en el análisis.

Tabla 8. Parámetros estocásticos para decisión de localización

| Parámetro | Costo de adecuación | Utilidad/Transacción | Ingreso/Transacción |
|-----------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Mínimo | \$ 15.064.232,98 | \$ 1.406,52 | \$ 2.263,59 |
| Máximo | \$ 21.886.630,26 | \$ 1.607,95 | \$ 2.560,49 |

Fuente: [García, et al., 2004].

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha desarrollado una metodología apropiada para la obtención de una red de posibilidades de ubicación de instalaciones y el levantamiento de su información relevante. La metodología se caracteriza por tener dos etapas de decisión de macrolocalización y microlocalización y una etapa de determinación, denominada de nanolocalización. Los aspectos relevantes en cada una de las etapas de la red de posibilidades son inspirados por los criterios de evaluación de proyectos y dimensionamiento que son manejados de manera simultánea.

Los resultados de la aplicación de la metodología al caso de barras de café de paso permitieron determinar las zonas, los sectores y las aceras opcionadas para la ubicación de dichas barras de café, lo que le servirá a la empresa como base para actuales y futuras toma de decisiones de ubicación de sus establecimientos. La metodología reportó resultados satisfactorios para la empresa al permitir un proceso de reflexión que facilita la transferencia de la experiencia de los tomadores de decisión. Sin embargo, la metodología debe continuar su desarrollo para que incluya aspectos tan relevantes como los costos de transacción.

AGRADECIMIENTOS

Los autores deseamos agradecer a los estudiantes de Diseño de Plantas e Investigación de Mercados que participaron en la recolección de datos. Por último, los autores reconocen el importante aporte recibido de la empresa OMA S. A. que suministró la información necesaria para realizar la prueba piloto de esta investigación.

REFERENCIAS

- ALBAUM, G. (1997), The Likert Scale revisited: an alternative Version, en: *Journal of the Marketing Research Society*, 19(2), 331-348.
- BELTON, V. A. (1986), Comparison of the analytic Hierarchy Process and a simple multi-attribute Value Function, en: *European Journal of Operational Research*, 106(1), 26:7-21.

- CATEORA, P. (1996), *International Marketing*, New York, Mc Graw-Hill.
- CHASCO, L. P. (2000), *Modelos de Gravitación Comercial: una aplicación al anuario Comercial de España*, Universidad Autónoma de Madrid, junio.
- CHURCHILL, G. A. (1979), A Paradigm for developing better Measures of Marketing Constructs, en: *Journal of Marketing Research*, 16, 64-74.
- COLOMÉ, R., D. Serra (2000), *Supermarket Key Attributes and Location Decisions: A Comparative Study between British and Spanish Consumers*, Universitat Pompeu Fabra, documento de trabajo.
- DYER, J. S. (1990), Remarks on the analytical Hierarchy Process, en: *Management Science*, 3, 249-258.
- ESPINOSA, J., T. Galán (1998), La medida de las actitudes usando las técnicas Likert y de diferencial semántico, en: *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 477-484.
- FIGUEIREDO, O., P. Guimaraes (2003), A tractable Approach to the firm Location Decision Problem, en: *The Review of Economics and Statistics*, 85(1), 201-204.
- FONTAINE, E. (1999), *Evaluación social de proyectos*, Bogotá: Alfa Omega, 1999.
- HERNÁNDEZ, R., C. Fernández (2000), *Metodología de la investigación*, México.
- GARCÍA, R. G., J. A. Durand, F. Palacios (2004), *Metodología de análisis integral (MAI)*, Documento de trabajo.
- GARCÍA, R. G., et al. (2004), *Localización óptima multipropósito de instalaciones bajo incertidumbre*, Informe de proyecto de investigación.
- GEOFFRION, A. M., R. F. Power (1995), Twenty Years of strategic Distribution System Design: an evolutionary Perspective. (Implementation in OR/MS: An evolutionary view), en: *Interfaces*, 25, 105-128.
- KEENEY, R.L., H. Raiffa (1976), *Decision with multiple Objectives: Preferences and values Tradeoffs*, New York, John Wiley and Sons.
- KERLINGER, F. N. (1986), *Foundations of Behavioral Research*, 4th ed. Fort Worth, Harcourt Brace College Publishers.
- KERZNER, H. (2001), *Project Management a Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*, New York, John Wiley and Sons.
- KOTLER, P. (1998), *Fundamentos de Mercadotecnia*, México, Prentice-Hall.
- LAHDELMA, R., R. Hokkanen, P. Salminen (2002), SMAA-O. Locating Waste Treatment Facility by using stochastic multivariable Analysis with ordinal Criteria, en: *European Journal of Operational Research*, 142, 345-356.

- LAMB, C., J. Hair y C. MacDaniel (1996), *Marketing. International*, Boston, Thompson.
- NUNNALLY, J. C. (1978), *Psychometric Theory*, New York, McGraw Hill.
- MALLO, C., R. Kaplan (2000), *Contabilidad de costos y estrategia de gestión*, Madrid, Prentice Hall.
- PORTER, M., M. B. Fuller (1986), *Competition in global industries*, Boston, Harvard Business School Press.
- SAATY, T. L. (2000), *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory*, Pittsburgh, RWS.
- SÁNCHEZ, M. (2003), *Diseño de un proceso de decisión para la apertura de barras de café de OMA*. Trabajo de Grado de Ingeniería Industrial, Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana.
- SAPAG, N. (2000), *Preparación y Evaluación de Proyectos*, Santiago de Chile, McGraw Hill.
- SELLTIZ, C., M. Jdoha (1976), *Métodos de investigación*, Madrid.
- STEUER, R. (1986), *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation, and Applications*, New York, John Wiley and Sons.
- SULE, D. (2001), *Instalaciones de manufactura: ubicación, planeación y diseño*, México, Thompson.
- TERRY, H., L. Haw (2003), *The Practice of Supply Chain Management*, Massachusetts, Kluwer Academic Publishers.
- TOMPKINS, J., et al. (1996), *Facilities Planning*, 2nd ed., New York, John Wiley and Sons.
- TORRES, S., R. G. García, J. Quintero, *Formas de contratación de los servicios de urgencias: una aproximación desde los costos de transacción*, en: *Revista de Economía Institucional* (aceptada para publicación).
- VINCKE, P. (1992), *Multicriteria Decision –Aid*, New York, John Wiley and sons.
- WATSON, S. R., D. M. Buede (1987), *Decision Synthesis: the Principles and Practice of Decision Analysis*, Cambridge University Press.
- ZELENY, M. (1990), *Multiple Decision Making*, New York, McGraw Hill.