



Ing. Jesús Velásquez-Bermúdez, Dr. Eng.
Chief Scientist DecisionWare - DO Analytics
jesus.velasquez@decisionware.net

DECISIONWARE

MAKING YOUR WORLD SMARTER



Septiembre 2019

ÍNDICE

- 1. MARCO DE REFERENCIA**
 - 1.1. GENERALIDADES**
- 2. DEMANDA**
- 3. OFERTA**
 - 3.1. FRUTAS Y VERDURAS**
 - 3.2. LECHE**
 - 3.3. PAPA**
 - 3.4. ABARROTES**
 - 3.5. GRANOS**
 - 3.6. CARNE DE RES**
 - 3.7. HUEVOS**
 - 3.8. PANELA**
 - 3.9. CARNE DE POLLO**
- 4. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS**
 - 4.1. SISTEMA TRADICIONAL DE ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS**
 - 4.2. SISTEMA MODERNO DE ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS**
 - 4.3. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS PARA BOGOTÁ D.C.**
- 5. MODELAJE MATEMÁTICO**
 - 5.1. ENTIDADES**
 - 5.2. ÍNDICES**
 - 5.3. CONJUNTOS**
 - 5.4. PARÁMETROS**
 - 5.5. VARIABLES**
 - 5.6. RESTRICCIONES**
 - 5.7. FUNCIÓN OBJETIVO.**
- 6. IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL**
- 7. CASO ESTUDIO: LA CIUDAD DE GUAYAQUIL**

PLAN MAESTRO DE ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS

1. MARCO DE REFERENCIA

El alimento es derecho fundamental de los seres humanos, por lo cual tiene carácter de bien público, y por tal razón el acceso al mismo no puede estar sujeto a las reglas que marque el mercado. Entonces, se convierte en el requisito mínimo para un ejercicio digno del derecho a la vida. Teniendo en cuenta lo anterior, el estado debe promover una política integral que garantice la construcción, y la consolidación de una red de abastecimiento de alimentos que brinde una seguridad alimentaria y nutricional a toda la población, la cual debe ser desarrollada bajo criterios técnico-económicos que garanticen costos logísticos eficientes para la distribución de los alimentos a la población.

Por lo tanto, la gestión del sistema de abastecimiento de alimentos tiene como objetivo dotar a la ciudad-región, y a su área de influencia, de la infraestructura necesaria y adecuada para desarrollo de las actividades que comprenden el procesamiento económico de los bienes y servicios alimentarios: producción, transformación, transporte, distribución, y consumo.

El modelo matemático presentado tiene como referencia principal el documento **"PLAN DE ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS PARA EL DISTRITO CAPITAL Y LA REGIÓN DEFINIDA (PMASAB)"** definido para la ciudad de Bogotá D.C. El modelo, prototipo, fue desarrollado para validar las propuestas de modernización especificadas en el PMASAB; parte de la investigación se llevó a cabo y se validó (para la ciudad de Guayaquil) como parte de una tesis de maestría en la Escuela Politécnica del Ecuador (ESPOL, Cepeda, 2006).

Este capítulo se concentra en el modelamiento matemático para obtener el plan maestro óptimo de suministros de alimentos para una región que estructure su plan de abastecimiento siguiendo un diseño similar para la red de abastecimiento al establecido en el **PMASAB**. Si el diseño de la red varía, será necesario ajustar el modelamiento de acuerdo con la estructura de la red, pero en general los aspectos a considerar son los mismos.

2. DEMANDA

Teniendo en cuenta el principio de seguridad alimentaria del plan maestro de abastecimiento de alimentos se tienen como objetivos:

- Asegurar la disponibilidad y la calidad de los alimentos;
- Reducir los precios del abastecimiento,
- Facilitar el acceso de toda la ciudadanía a una alimentación más adecuada; y
- Construir un sistema de abastecimiento que gire alrededor de una canasta que en términos nutricionales permita una adecuada alimentación de la población.

El cálculo de la demanda parte de los requerimientos básicos para una adecuada alimentación. En este sentido se debe aclarar que estos requerimientos van más allá de los contenidos mínimos (protección contra el hambre), e incluyen los contenidos complementarios (condiciones alimentarias de las personas: cantidad, calidad, valor nutricional, etc.).

Con respeto al aporte nutricional de los grupos de alimentos, y a las cantidades necesarias, se establece la composición de la dieta ideal o recomendada; la cual, para la ciudad de Bogotá, se presenta a continuación; esta dieta varía de acuerdo con las costumbres y la disponibilidad de alimentos de cada ciudad-región.

COMPOSICIÓN CANASTA DESEABLE				
Fuente: Documento Estudio PMASAB - Análisis del Consorcio CPT-CIPEC				
GRUPO	PARTICIPACIÓN (%)	CONSUMO (GRS.)	APORTE ENERGÉTICO (CALORÍAS)	PROTEÍNAS (GRS.)
Lácteos	6.25	260	93.4	7.6
Carne y leguminosas	8.9	171	307.16	29.7
Hortalizas y verduras	10.93	160	62.9	2.3
Frutas	31.75	610.	358.2	5.3
Grasas	2.6	10	438.5	0
Azúcares y dulces	4.42	85	314.07	1.3
Cereales, tubérculos y papa	31.75	510.	988	16.1
Condimentos y miscelánea	3,43	115	45,63	0,7

El plan de abastecimiento **PMASAB** analizó el consumo de Bogotá, a partir de los 93 productos definidos por el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (**ICBF**) para la canasta nutricional. De esta canasta, el plan identificó los 33 alimentos considerados básicos, por una parte, por ser responsables del aporte nutricional y, por otro, porque representan el 85.5% del consumo de los bogotanos. Además, éstos se clasificaron dentro de nueve cadenas productivas y así se convirtieron en punto de referencia para todo el análisis, esta clasificación se toma como marco de referencia.

LISTA DE ALIMENTOS CLAVES SEGÚN CATEGORÍAS	
Fuente: Consorcio CPT-CIPEC 2003 – PMASAB.	
CADENAS PRODUCTIVAS	ALIMENTOS CANASTA BÁSICA
Carne de Res	Carne de res y vísceras de res.
Fruver	Plátano, yuca, tomate, cebolla, zanahoria, espinaca y acelga, arveja verde, cítricos, papaya, banano y guayaba.
Papa	Papa
Leche y Derivados	Leche fresca, queso, cuajada, etc.
Abarrotes	Aceites y grasas, pastas, pan, azúcar, sal y chocolate.
Granos	Arroz, leguminosas importadas y frijol seco.
Panela	Panela.
Huevos	Huevos.
Carne de pollo	Carne de pollo y menudencias de pollo
Total	33 alimentos

A partir de la canasta ideal o recomendada, se realizan las estimaciones de consumo total para los diferentes escenarios de análisis, para ello se deben tomar las proyecciones de población oficiales para la ciudad región. En el caso de Bogotá, el área de influencia del **PMASAB** no solo se concentra en el Bogotá D.C. sino que cubre los diecinueve (19) municipios que conforman la Sabana de Bogotá, esta población se distribuye en Bogotá D.C. (dividida en 112 UPZ) y 19 localidades vecinas. Las UPZ corresponden a las UBTs (Unidades Básicas del Territorio) del modelo matemático.

El detalle de las proyecciones se encuentra en los cuadros siguientes:

POBLACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE LA SABANA DE BOGOTÁ D.C. 1995 – 2015					
Población	1995	2000	2005	2010	2015
Cajicá	35,030	40,158	45,184	49,928	54,172
Chía	53,974	61,783	69,411	76,560	82,915
Cogua	14,074	15,202	16,076	16,719	17,220
Cota	13,171	14,784	16,287	17,590	18,645
Facatativá	78,125	90,266	102,355	114,023	124,742
Funza	44,999	51,808	58,540	64,979	70,827
La Calera	20,980	24,188	27,370	30,225	32,945
Madrid	45,669	52,110	58,357	64,192	69,328
Mosquera	24,722	27,753	30,566	33,011	34,992
Sibaté	25,647	29,808	33,996	38,075	41,883
Soacha	250,404	283,889	315,880	345,256	370,460
Tabio	10,935	11,962	12,832	13,563	14,011
Tenjo	17,158	19,357	21,433	23,298	25,325
Bojacá	5,429	6,010	6,543	6,994	7,337
El Rosal	7,262	7,828	8,722	9,542	10,248
Subachoque	19,008	13,751	15,323	16,763	18,003
Zipaquirá	78,923	91,113	103,234	114,899	125,585
Tocancipá	13,080	14,602	15,998	17,214	18,178
Gachancipá	6,205	6,707	7,123	7,422	7,575
TOTAL	764,795	863,079	965,230	1,060,253	1,144,391

Fuente: Basado en: DANE. Estudios Censales 8. Colombia Proyecciones, Municipios de Población por área, 1995-2015. Bogotá, Febrero 2001.

La demanda de producto de cada una de las cadenas de abastecimientos de referencia es función de la población demandante y de los contenidos de estos productos en la canasta ideal de alimentación. Se debe notar que es posible diseñar la dieta óptima de acuerdo a la demanda de nutrientes y a la oferta de los mismos de acuerdo a cada cadena productiva.

$$\text{DEMANDA (GRS)} = \text{POBLACIÓN UBT (HAB)} \times \text{CONTENIDO CANASTA IDEAL (GRS/HAB)}$$

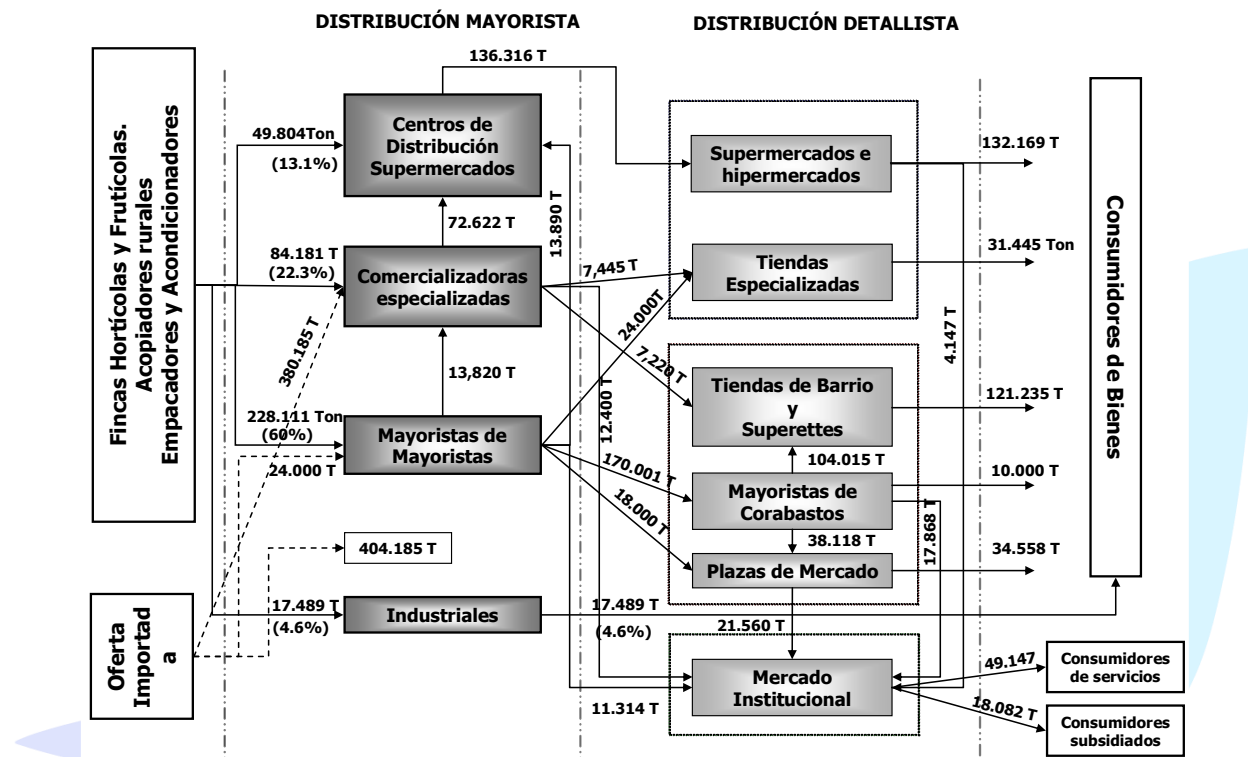
3. OFERTA

Para realizar el análisis del sistema se toma como base las fichas operaciones de las cadenas de abastecimiento. El detalle de los flujos de las nueve (9) cadenas de abastecimiento en los diferentes eslabones de oferta, transporte y accesos, canales de distribución, transformación y consumo, se presenta de forma conceptual en las fichas operacionales. Una mayor información se encuentra en el soporte técnico respectivo. A continuación se presentan las respectivas fichas y los flujos operacionales de las nueve cadenas de abastecimiento. La descripción presentada corresponde a la información presentada en las secciones 4.2.24 y 4.2.8 del documento **PMASAB**.

3.1. FRUTAS Y VERDURAS

La oferta de las frutas y verduras proviene esencialmente de dos fuentes, lo producido localmente en las fincas hortícolas y frutícolas y aquello producido en otros países e importado para consumo en nuestro país. La producción total nacional se distribuye de acuerdo con los porcentajes mostrados en las fichas de las cadenas en las tres zonas usuales: zona o anillo uno, zona o anillo dos, zona o anillo nacional. La producción en cada uno de los anillos así como las importaciones, son distribuidas a las rutas de acceso de Bogotá D.C. a saber: calle 13, calle 80, Soacha, Choachí, La Calera, Villavicencio, Zipaquirá y Tocancipá. Para efectos del modelo, la totalidad de frutas y verduras nacionales e importadas que han pasado por dichas rutas son consideradas en un gran inventario llamado Fruver Bogotá D.C.

Este inventario se distribuye a la industria de frutas y verduras, a los centros de distribución supermercados, comercio especializado frutas y verduras y mayoristas de frutas y verduras. De los anteriores se pasa a los centros de distribución correspondientes a supermercados e hipermercados, Corabastos, tiendas de UBT, plazas de mercado y mercado institucional. Nuevamente estos centros de distribución pasan a ser una consolidación del consumo aparente del consumidor final, desde donde se hace la distribución entre las cuatro zonas de Bogotá D.C.

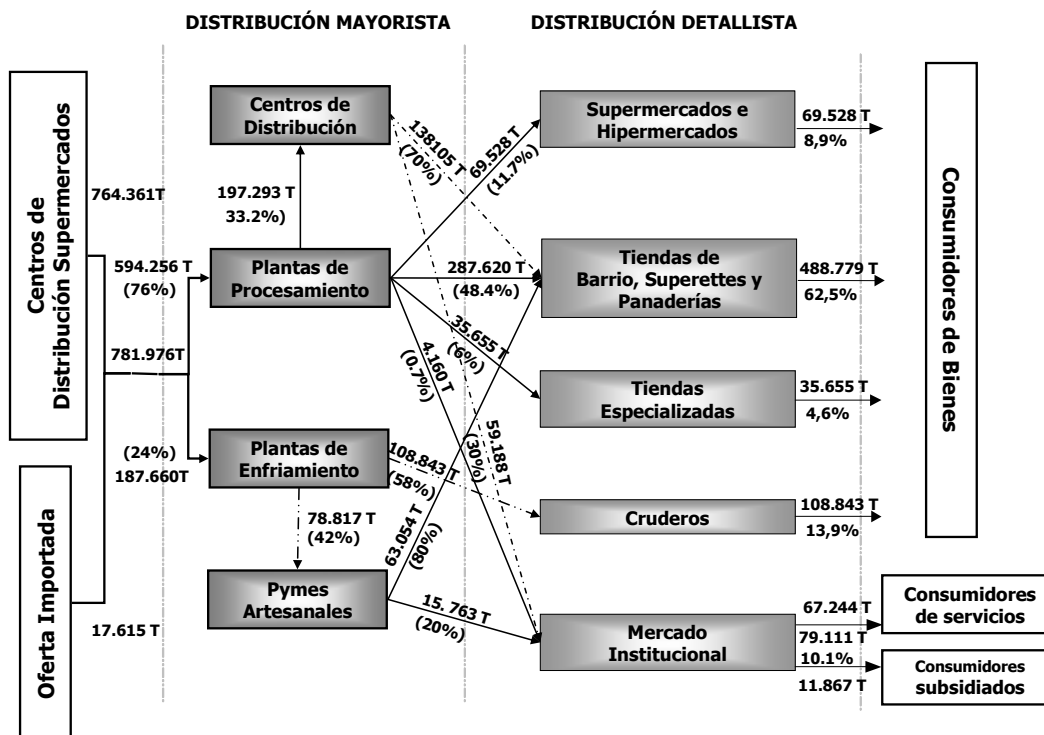


LA CADENA DE ABASTECIMIENTO FRUTAS Y VERDURAS - 2002

DECISIONWARE
MAKING YOUR WORLD SMARTER

3.2. LECHE

La leche se provee desde las fincas lecheras y acopiadores rurales presentes en los anillos 1, 2 y las importaciones a nivel nacional, entra a Bogotá D.C. por la Calle 80, Tocancipá, Zipaquirá, Soacha, Villavicencio y Calle 13. Parte de esta leche entra cruda y fría a las plantas pasteurizadoras de leche en la ciudad y otra ingresa ya pasterizada en industrias de la periferia. De estas plantas se pasa a las tiendas especializadas, supermercados e hipermercados, centros de distribución de leche y pequeñas y medianas empresas lácteas (Pymes Leche).

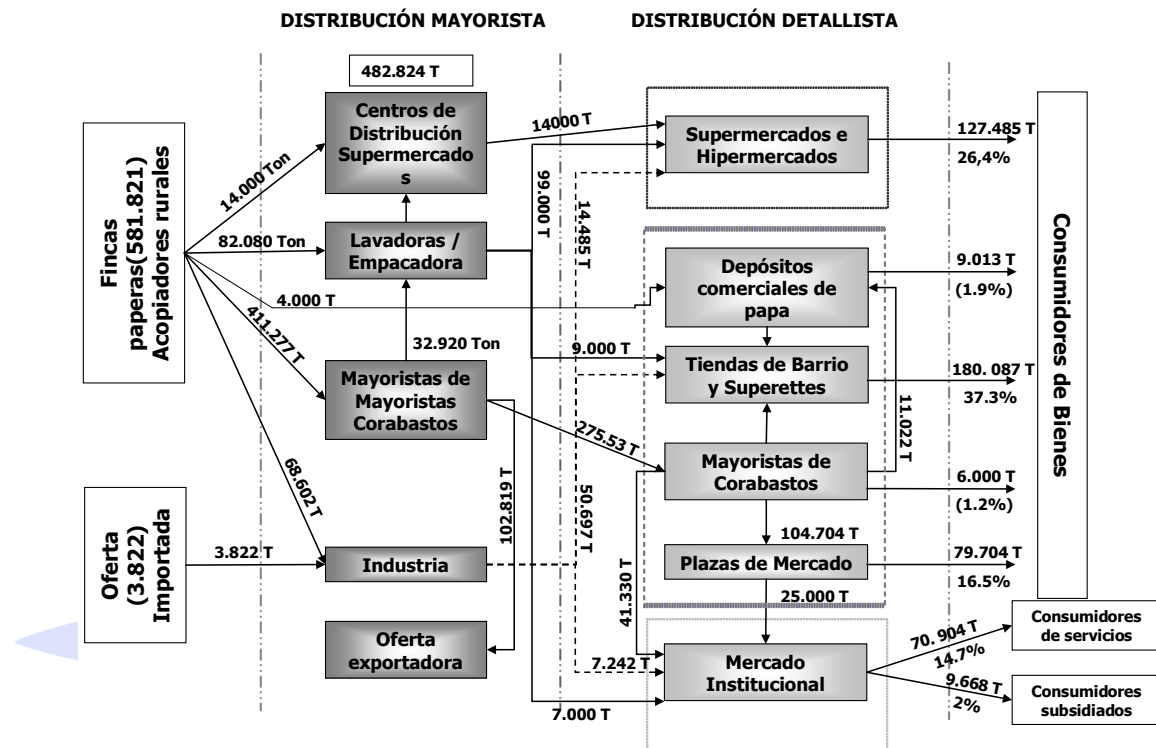


LA CADENA DE ABASTECIMIENTO DE LOS LÁCTEOS - 2002

MAKING YOUR WORLD SMARTER

3.3. PAPA

En el anillo 1 y en el anillo 2 se encuentran las fincas paperas y los acopiadores rurales que junto con las importaciones son la fuente de abastecimiento de papa a la ciudad. Este producto entra a Bogotá D.C. por la Calle 80, Calle 13, Tocancipá, Zipaquirá, La Calera, Villavicencio y Soacha. En Bogotá D.C. se consolida en los centros de distribución de los hipermercados y los supermercados, en las industrias lavadoras y empacadoras de papa, Corabastos (desde donde sale exportada de la región una proporción importante) y la industria de papa. De estos sitios se llega a los supermercados e hipermercados, tiendas de las UBT, plazas de mercado y tiendas mayoristas de papa en donde se abastece el consumidor.



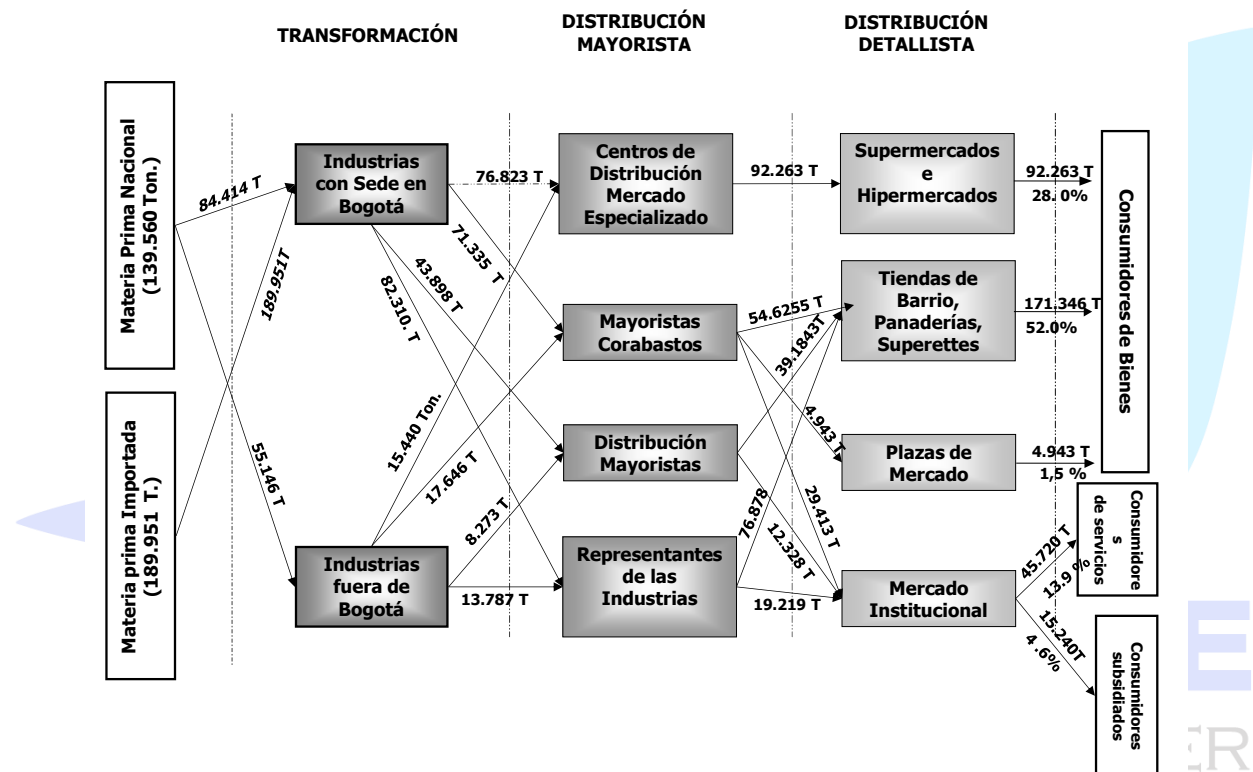
LA CADENA DE ABASTECIMIENTO PAPA

MAKING YOUR WORLD SMARTER

3.4. ABARROTES

La cadena de abarrotes tiene dos fuentes de abastecimiento, la correspondiente a la materia prima producida en el mercado nacionalmente y aquella producida e importada de otros países. La oferta de materia prima nacional se distribuye en cada uno de las tres anillos anillo uno, anillo dos, y anillo nacional. La materia prima importada es directamente enviada a las entradas de Bogotá: Zipaquirá, Tocancipá, Villavicencio, Soacha, Calle 13. Lo recibido en cada una de las zonas es acumulado se distribuye a las industrias con sede en Bogotá, a los centros de distribución de abarrotes de los supermercados y de los hipermercados, a Corabastos y mayoristas de abarrotes.

Desde los mayoristas se llega a los centros de distribución directa al consumidor: supermercados e hipermercados, plazas de mercado, tiendas de UBT y mercado institucional de abarrotes. La demanda aparente en estos centros de distribución es consolidada en el consumo de abarrotes consumidor final.

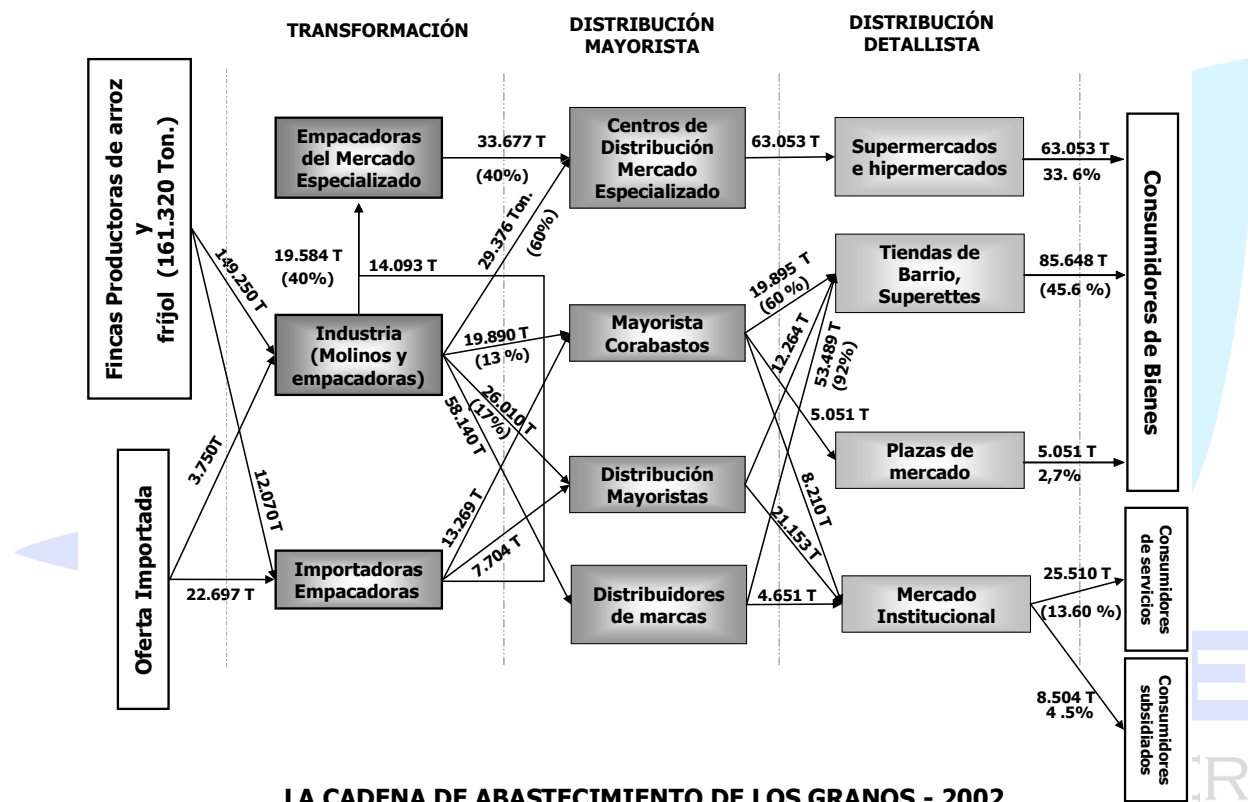


LA CADENA DE ABASTECIMIENTO DE LOS ABARROTES- 2002

3.5. GRANOS

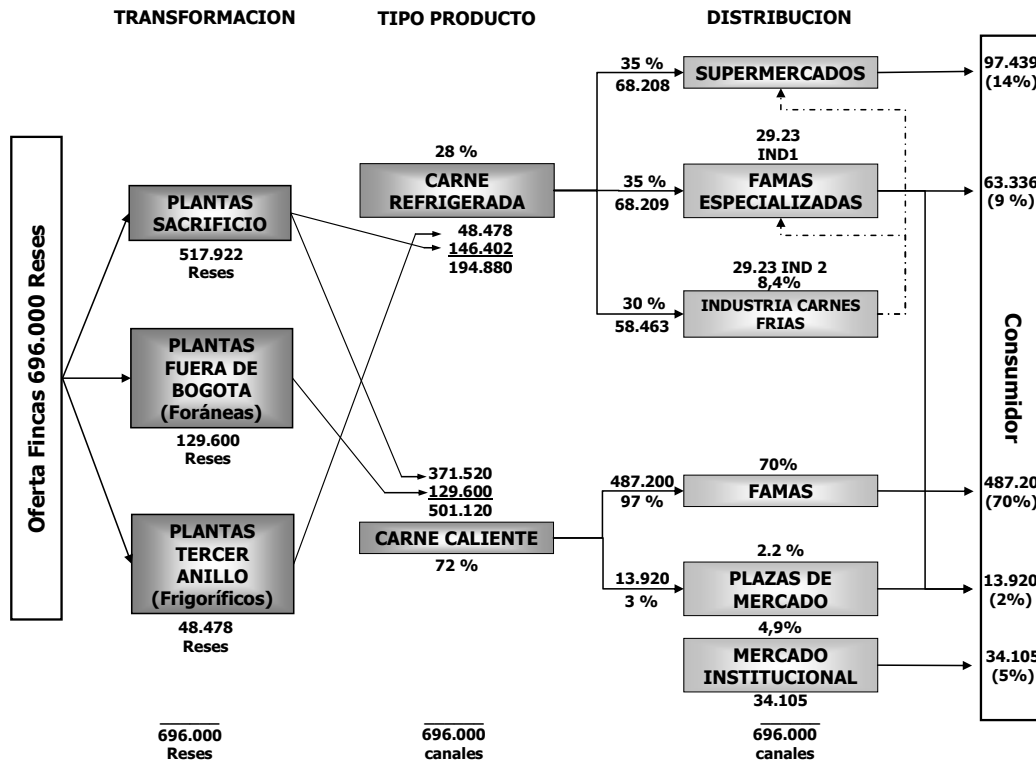
El inicio de la cadena de distribución de granos es esencialmente materia prima importada excepto para arroz y frijol. La cadena entonces parte de dos inventarios iniciales, importación de granos y fincas productoras de Arroz y Frijol. Las Fincas Productoras se encuentran únicamente en el anillo dos y el anillo nacional, de estos dos anillos se reparte a las distintas entradas de Bogotá D.C. junto con la materia prima importada. Las entradas consideradas para la cadena de granos son Villavicencio, Soacha, Tocancipá, y la calle 13, la oferta es consolidada en un inventario denominado Granos Bogotá D.C.

De aquí se reparte a los centros de distribución supermercados granos, Corabastos, distribuidores mayoristas de granos y distribuidores mercado institucional de granos. La distribución al consumidor final es repartida a través de supermercados e hipermercados, plazas de mercado, tiendas de UBT y mercado institucional.



3.6. CARNE DE RES

El inventario ganadero presente en los tres anillos abastece a Bogotá D.C. tanto con reses ya sacrificadas, como con ganado vivo que es sacrificado en los mataderos de Guadalupe, San Martín y Usme. La carne refrigerada y la carne caliente llegar al mercado institucional, los supermercados, las tiendas especializadas, las famas y las plazas de mercado. El consumidor se abastece en los centros mencionados anteriormente.



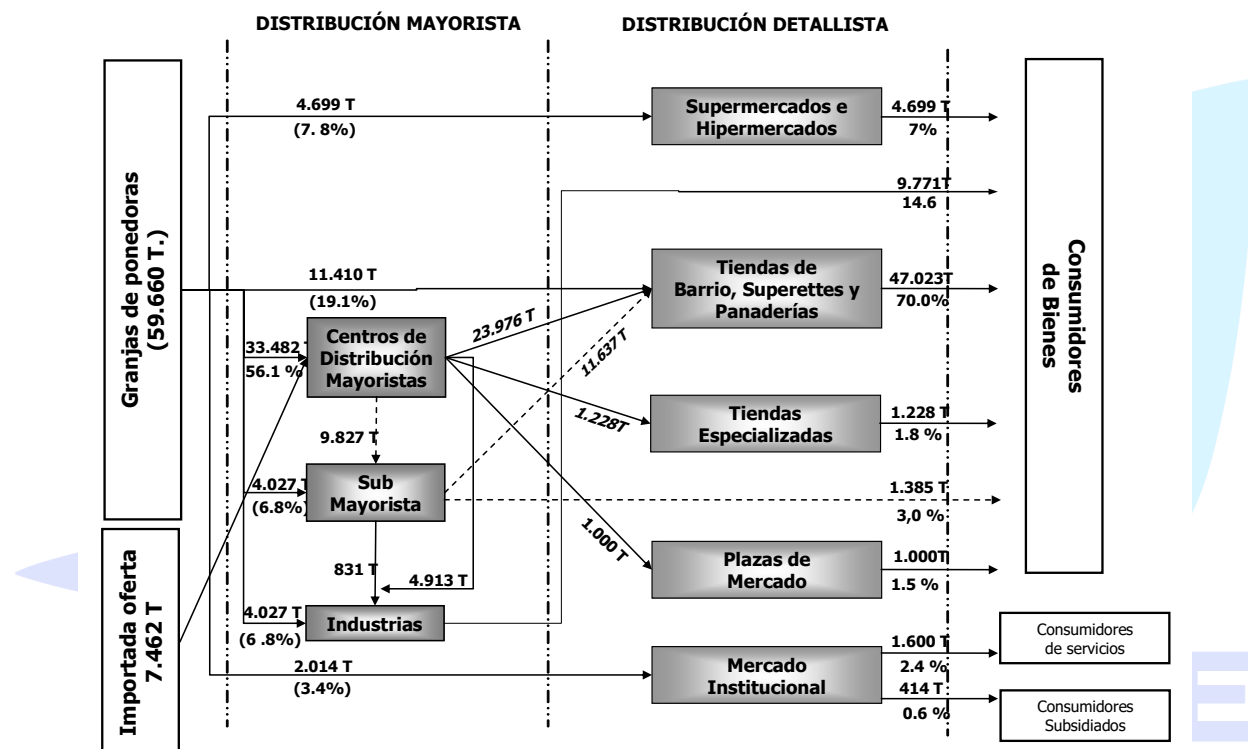
LA CADENA DE ABASTECIMIENTO CARNE DE RES

DECISIONWARE
MAKING YOUR WORLD SMARTER

3.7. HUEVOS

La oferta de huevos proviene de Granjas de Ponedoras ubicadas en el anillo 1 y en el anillo dos. Los huevos provenientes de estos anillos ingresan por Zipaquirá, Tocancipá, Calle 80, Calle 13, Villavicencio, Soacha, Choachí y La Calera.

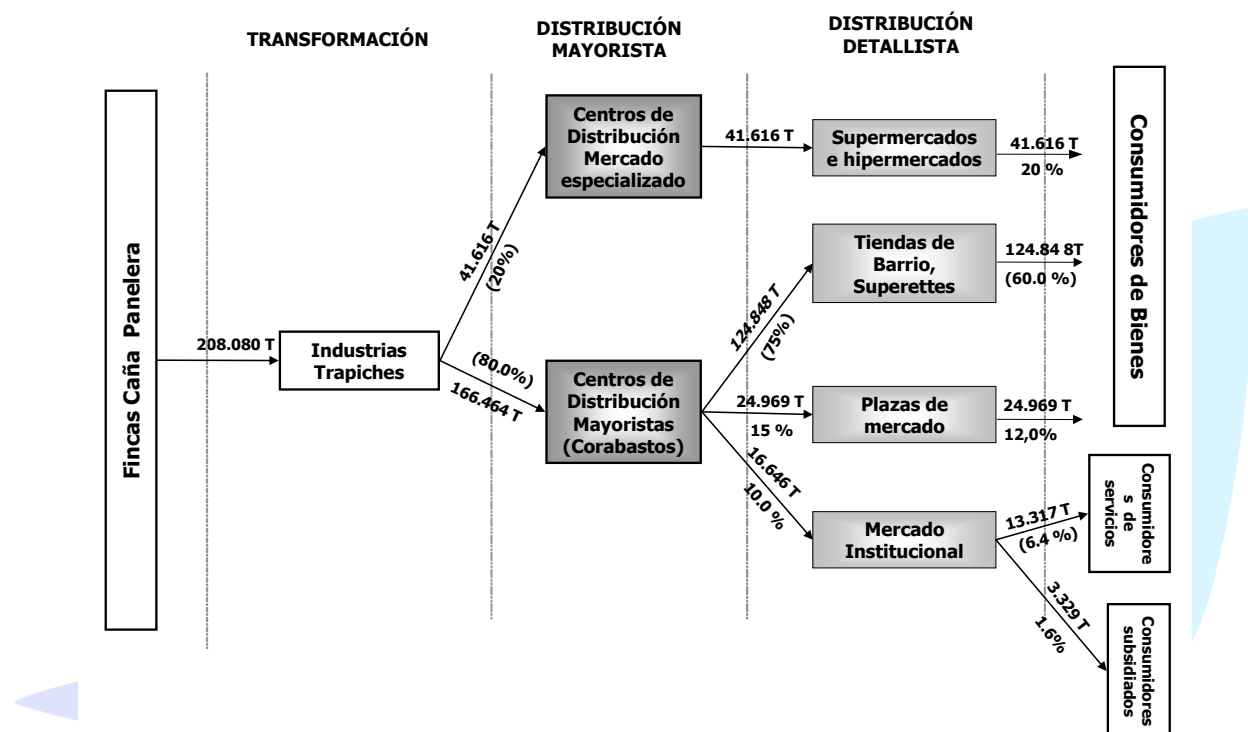
La oferta consolidada en el inventario de Huevos Bogotá D.C. pasa al centro de distribución mayorista de huevos, a la industria de huevos o a los sub-mayoristas de huevos. De aquí pasa a las tiendas de UBT y plazas de mercado. En este caso hay distribución directa del inventario de huevos Bogotá D.C. a los supermercados y a la industria. Igual que las cadenas anteriores se hace la distribución al consumidor final por los canales antes mencionados.



LA CADENA DE ABASTECIMIENTO HUEVOS - 2002

3.8. PANELA

La panela que se consume en Bogotá D.C. proviene de las fincas de caña panelera y de los trapiches presentes en los anillos uno y dos junto con las importaciones de pollo que vienen del anillo nacional; entran a Bogotá D.C. por Zipaquirá, la calle 13, Soacha y Tocancipá. A los canales de tienda de **UBT**, plazas de mercado, mercado institucional supermercados e hipermercados se distribuye desde Corabastos y los centros de distribución de panela.

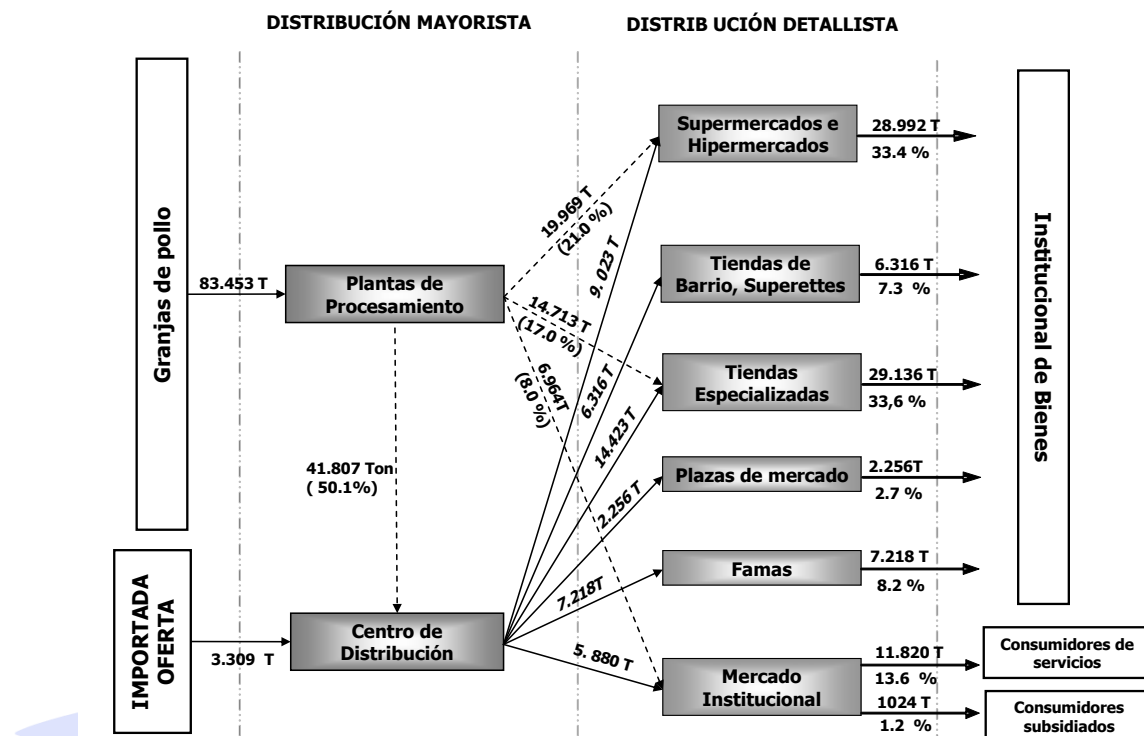


LA CADENA DE ABASTECIMIENTO DE LA PANELA - 2002

DECISIONWARE
MAKING YOUR WORLD SMARTER

3.9. CARNE DE POLLO

Las granjas de pollo ubicadas en el anillo 1 y el anillo dos junto con las importaciones de pollo que vienen del anillo nacional generan el ingreso de pollo a Bogotá D.C. Posteriormente ingresan por Tocancipá, la Calle 80, Soacha, Villavicencio y Calle 13. Los centros de distribución y las industrias de pollo abastecen las plazas de mercado, las famas con distribución de pollo, el mercado institucional, las tiendas especializadas y los hipermercados y supermercados las cuales distribuyen a los consumidores.



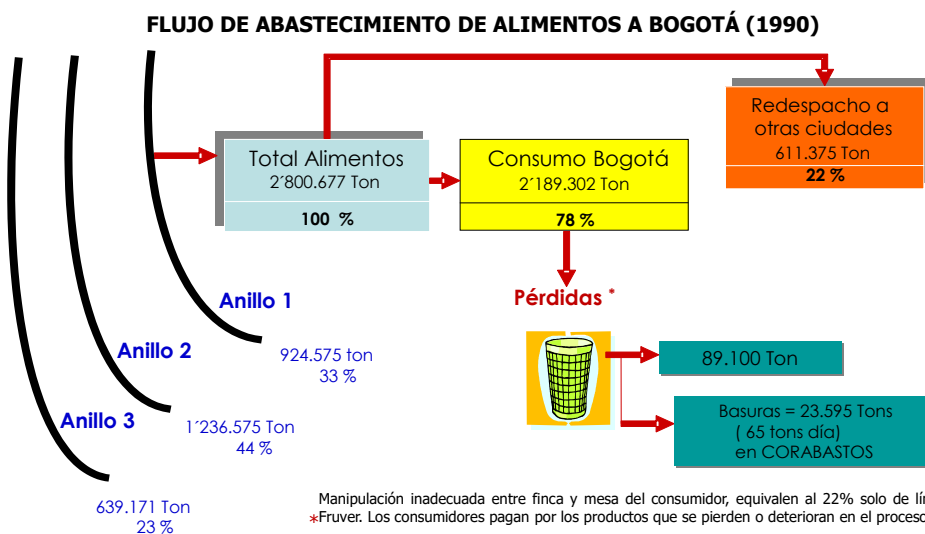
LA CADENA DE ABASTECIMIENTO CARNE DE POLLO 2002

4. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS

4.1. SISTEMA TRADICIONAL DE ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS

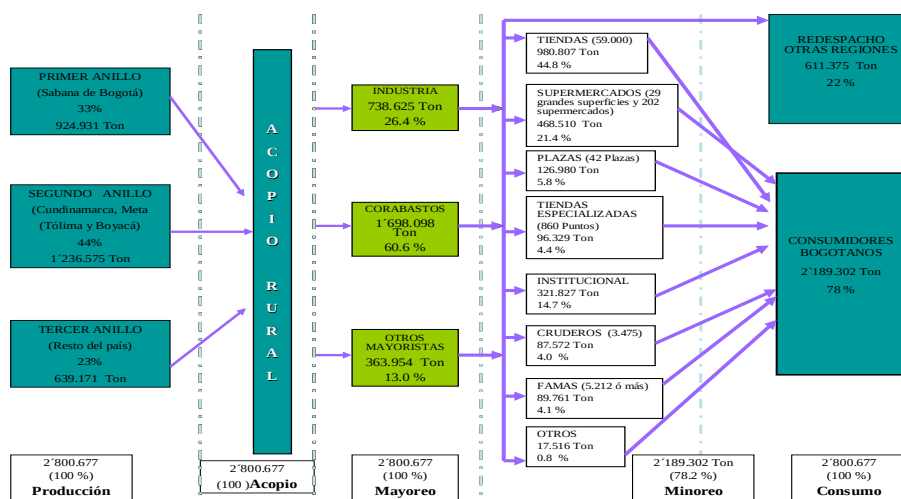
Para la presentación de la oferta se tomarán como referencia las nuevas cadenas de abastecimiento en las cuales se clasificaron los 33 productos más importantes en la canasta de consumo. Cabe anotar que la información que se presenta a continuación tiene como referencia el documento **PMASAB**.

En la siguientes gráfica se presenta en forma general el flujo de alimentos y su distribución en la Sabana de Bogotá D.C. y en el resto del país. Los anillos se refieren a los diferentes orígenes geográficos de donde provienen los productos y están relacionados directamente con la distancia que los separa de Bogotá D.C. El anillo 1 está conformado por los 19 municipios que se encuentran ubicados en la Sabana. El anillo 2 se refiere a los municipios que se encuentran en un radio menor a los 200 kms, y el anillo 3, a los diferentes orígenes nacionales.



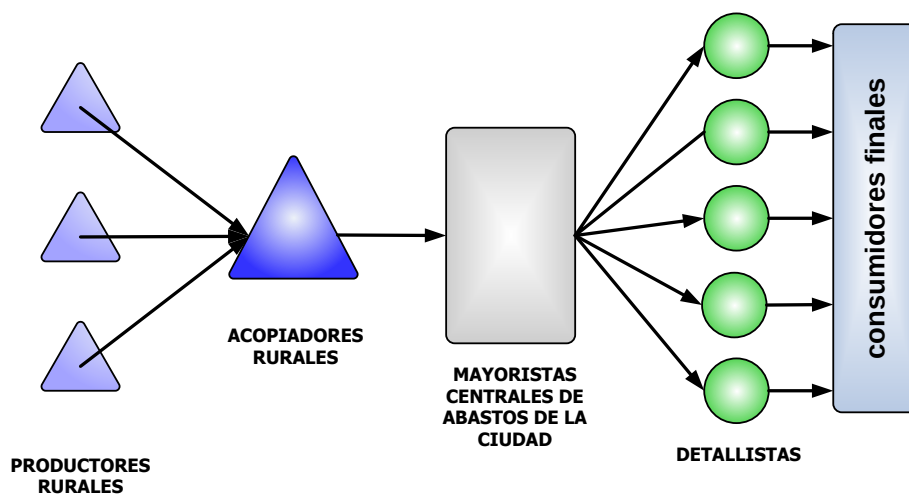
Fuente: Consorcio CPT-CIPEC.2003 - PMASAB

Los flujos que se presenta entre las fuentes, Bogotá D.C. y el resto del país, además de los diferentes elementos del sistema de abastecimiento se presentado en la siguiente gráfica.



Fuente: Basado en Luque Carulla y Asociados S.A.
Misión Siglo XXI – Estudio Prospectivo en el Distrito Capital (1990)

El siguiente gráfico presenta el sistema centralizado de abastecimiento tradicional de suministro de alimentos, el cual se soporta en una plaza central en la que se consolida oferta y demanda de los productos alimenticios que es el imperante en la mayoría de las ciudades pequeñas y en las grandes ciudades que no han evolucionado a un sistema distribuido que genera menores costos.



SISTEMA ABASTECIMIENTO CENTRALIZADO (TRADICIONAL)

Fuente: PMASAB

El sistema de abastecimiento tradicional es una cadena que abarca los siguientes eslabones.

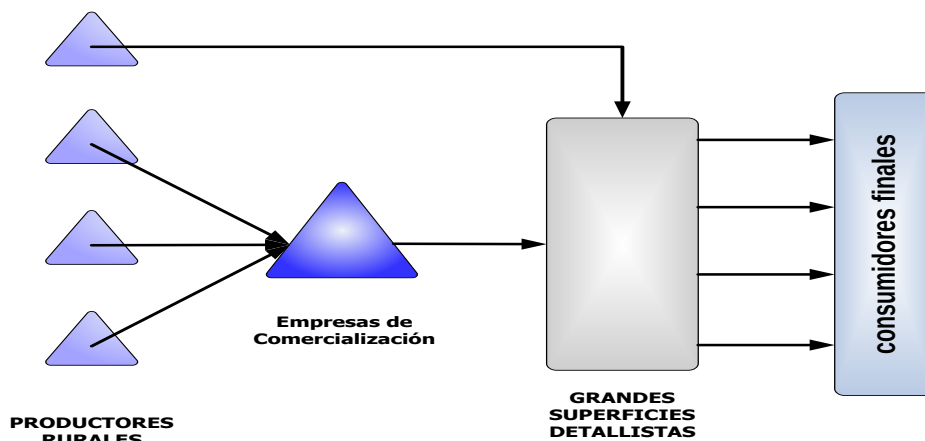
- **Productores.** Conformados por miles de productores individuales, caracterizados por ser minifundistas y con bajo desarrollo tecnológico en el desarrollo de sus cultivos. Desde hace algunos años se han generado diferentes formas asociativas con el fin de mejorar sus posibilidades de negociación y las prácticas agrícolas.
- **Acopiadores.** Estos agentes compran las cosechas en las fincas a los agricultores, con quienes mantiene estrechas relaciones. Realizan actividades de consolidación de los productos y los trasladan a las diferentes Centrales Mayoristas.
- **Mayoristas.** Estos agentes se encargan de la intermediación entre los acopiadores y los detallistas del sistema. Se caracterizan por ser grandes comerciantes que realizan su actividad de manera individual, y de forma informal a pesar de los grandes valores que generalmente tranzan. Una de sus principales funciones es la fijación de los precios de referencia en el mercado para una gran parte de los productos de la canasta familiar.
- **Detallistas.** Está conformado por los vivanderos de las plazas de mercado y por los tenderos de UBT. Actúan dentro del sistema como agentes individuales lo cual les genera una posición no muy ventajosa en los procesos de negociación frente a los grandes mayoristas, quienes son sus directos proveedores.
- **Consumidor final.** Restaurantes y hogares.

El sistema tradicional se caracteriza por el gran poder que tienen los intermediarios (acopiadores y mayoristas) frente a demás agentes del sistema (productores y detallistas). En general, todos los agentes presentan bajos niveles de organización empresarial; lo cual genera que la operación sea deficiente en diferentes aspectos generando sobre-costos que son trasladados a los productores, a los detallistas, y por supuesto al consumidor final. En el caso de Bogotá D.C. este sistema cubre el 75% de la demanda.

4.2. SISTEMA MODERNO DE ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS

El **PMASAB** propone un sistema alternativo que tiene un mayor grado de organización y un claro perfil empresarial que les permite a los agentes tener su propia infraestructura y no depende del sistema

tradicional de abastecimiento. Se propone generar una cultura organizativa en los eslabones primarios de la cadena con fin de facilitar la negociación.

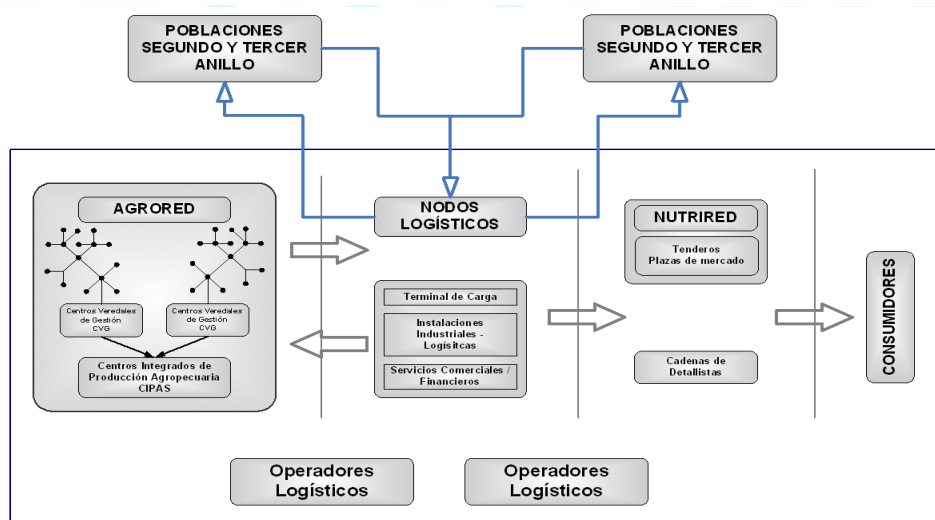


SISTEMA ABASTECIMIENTO MODERNO

Fuente: PMASAB

A continuación se presentan el Sistema de Abastecimiento de Alimentos propuesto en el **PMASAB**, por la Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos (**UESP**). En dicho plan la cadena de abastecimiento se caracteriza por cuatro eslabones básicos: producción, transformación, distribución y transporte, que han sido reorganizados en el nuevo sistema.

El **PMASAB** establece tres elementos básicos: **AGRORED**, **Nodos Logísticos** y **NUTRIRED**; dichos elementos se encuentran organizados de tal forma que mejoren la eficacia del sistema tradicional de abastecimiento, reportando beneficios en términos de costo y de calidad, a la población de menores recursos de la ciudad de Bogotá D.C. Esquemáticamente dicho sistema se puede representar de la siguiente manera.



SISTEMA DE ABASTECIMIENTO MODERNO

Fuente DW

De la figura anterior se pueden observar tres elementos nuevos del sistema de abastecimiento que responde a la necesidad de reorganizar funcional y operativamente al sistema tradicional de abastecimiento de Bogotá D.C.

- **AGRORED:** tiene como objetivo la organización de los productores rurales para acceder a unas mejores opciones de negociación frente a los industriales, grandes cadenas de detallistas y mayoristas. Además servirá como ente para otro tipo de actividades a desarrollarse en el campo con el fin de mejorar la calidad de los productores que abastecen a Bogotá, es decir, este concepto de agremiación no es solo de tipo comercial sino que permite desarrollar coordinadamente otras actividades de tipo industrial, cultural, educativas, sociales, etc. Aquí no se prevee una inversión directa en infraestructura por parte de la Alcaldía de Bogotá D.C. pero si actividades de promoción de dichos centros en conjunto con otros entes gubernamentales (Gobernaciones y Alcaldías) y privados porque no solo tiene como objetivo la zona rural de las poblaciones de influencia del Distrito Capital sino aquellas ubicadas en los anillos dos y tres de abastecimiento. Para tal fin se definen los Centros de Gestión Veredal (**CGV**) con el fin de organizar y coordinar la actividad de oferta a nivel veredal y desarrollar el contacto con el operador mayor de oferta, en este caso los Centro Integrados de Producción Agropecuaria (**CIPAS**), quienes son los encargados de la gestión de integración.
- **Nodos Logísticos.** Tienen como objetivo descentralizar la actividad mayorista del sistema tradicional (Corabastos) y sus implicaciones urbanísticas y ambientales, reubicar las actividades de transformación de alimentos y desarrollar una infraestructura moderna que soporte los procesos de transformación no solo desde el punto de vista industrial sino logístico, financiero, y demás servicios que sean necesarios para tales actividades. También quiere buscar impulsar una cultura empresarial de los actores o agentes del sistema tradicional. La eficacia y eficiencia que se logre a través de dichos nodos no solo beneficiaría a Bogotá D.C. sino a todas las poblaciones que se abastecen del sistema agroindustrial ubicado en la Sabana.
- **NUTRIRED:** es de carácter organizativo y busca mejorar las condiciones operativas del sistema detallista formado por los tenderos de UBT y por las plazas de mercado. En este sentido no involucra una inversión directa por parte de la Alcaldía de Bogotá D.C. pero si de actividades de promoción de dicha iniciativa. Tiene como objetivo central, al igual que **AGRORED**, mejorar las condiciones de negociación de dichos agentes en el sistema de abastecimiento. Históricamente este elemento del sistema de abastecimiento no ha tenido ningún poder de negociación debido principalmente a los pequeños volúmenes que manejan individualmente, esto ha hecho que todas las ineficiencias del sistema afecten su margen de rentabilidad. Para el caso de las plazas de mercado si se prevé un desarrollo y expansión de la infraestructura actual que requiere inversión por parte de la Alcaldía y de ser posible del sector privado. La nutrired se apoyará operativamente en un equipamiento logístico de escala local (**Plaza Logística**), usualmente una plaza de mercado, que contará con la infraestructura necesaria para cumplir con esta función; cubrirá un territorio específico, definido en concordancia con la zonificación de unidades de planeamiento zonal **UBT**. Así, una **NUTRIRED** puede cubrir una o varias **UBT**, de acuerdo con su caracterización de abastecimiento y al dimensionamiento de su mercado.

EQUIPAMIENTOS DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO			
EQUIPAMIENTO	ESCALA	CANTIDAD	CLASIFICACIÓN POT
PLAZAS DE MERCADO	Zonal	Propuestas: 15 actuales adecuadas 17 nuevas La cantidad precisa se determina con los estudios de caracterización por UBT	No contenido en POT
NODOS LOGÍSTICOS	Regional y Nacional	3 en municipios de la Sabana de Bogotá, Usme y Corabastos	No contenido en POT
CIPAS	Subregional Rural		

EQUIPAMIENTOS DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO			
EQUIPAMIENTO	ESCALA	CANTIDAD	CLASIFICACIÓN POT
CENTRO DE GESTIÓN VEREDAL CGV	Vecindad Veredal		
Fuente: Documento soporte técnico del Plan Maestro de Abastecimiento y Seguridad Alimentaria de Bogotá D.C.			

El principal objetivo del sistema de abastecimiento es lograr la integración logística entre los diferentes elementos. Bajo esta perspectiva se espera que el sistema cumpla con las siguientes funciones:

- **Transferencia física.** La función de desconsolidación de grandes volúmenes y la consolidación en unidades menores para la entrega integrada a los distribuidores (tiendas especializadas, tiendas de UBT, comedores escolares, vivanderos de las plazas de mercado, etc.). En este sentido, se conforma una plataforma de cargue y descargue, la cual también puede cumplir funciones de manipulación para algunos productos (selección, empaque, etc.)
- **Conectividad virtual.** Para acceder a información de oferta y demanda de bienes y servicios, realizar transacciones y pagos y tener trazabilidad de productos.
- **Negociación directa.** Los procesos de negociación entre proveedores y distribuidores se llevarán a cabo eliminando la intermediación innecesaria, permitiendo a los pequeños productores ofertar integradamente en volumen, y a los pequeños comerciantes intervenir asociadamente en subastas de productos.

El sistema tradicional se caracteriza por trasladar al consumidor final los costos de su ineficacia y de su ineficiencia. Si se tiene en cuenta que el porcentaje de ingresos que es destinado para el rubro de alimentación por parte de los estratos bajos (1-2) es alto, además de ser un grupo de consumidores muy sensibles a los cambios de precios, esta situación se convierte en un problema social de gran importancia. El nuevo sistema de abastecimiento tiene como objetivo final lograr la seguridad alimentaria para Bogotá, prestando una mayor atención a los estratos menos favorecidos donde este aspecto (alimentación) es de vital importancia para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Se da por hecho que uno de los objetivos primordiales de dicho sistema es la calidad de los alimentos que se distribuyen a los consumidores y que los costos de operación sean los menores posibles beneficiando así a toda la población de la capital, del área de influencia y de las diferentes zonas del país que se abastecen de Bogotá D.C.

El diseño integral del sistema (plan maestro) debe buscar optimizar, integrar y ordenar en la ciudad-región y la región-ciudad el sistema de producción, transformación, transporte, distribución y comercialización de los productos logrando mejorar aspectos de calidad, cantidad y precio. Desde el punto de vista estratégico y de modelamiento matemático, el problema a resolver para el definir el sistema de abastecimiento de alimentos de Bogotá D.C. es la ubicación de la infraestructura requerida para su articulación. De esta manera los elementos del sistema a ubicar son las plataformas o nodos logísticos y las plazas de mercado, los cuales requieren inversión directa por parte de la Alcaldía Mayor en infraestructura para su desarrollo.

4.3. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS PARA BOGOTÁ D.C.

A continuación se presenta la conceptualización del nuevo Sistema de Abastecimiento de Alimentos para Bogotá D.C. (**SAAB**) que se utiliza como base del modelo matemático propuesto. En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los diferentes elementos que participan en el proceso de abastecimiento y que fueron caracterizados en el **PMASAB**. El sistema presentado define una estructura de cadena de abastecimiento común a las cadenas analizadas, y se convierte en el sistema de referencia para realizar el planteamiento del modelo matemático.

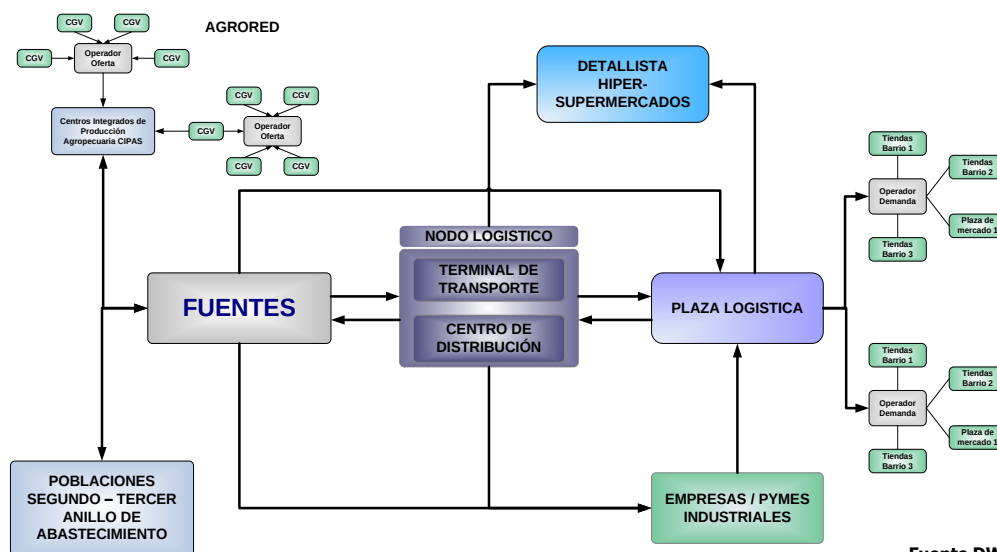
RESUMEN ESLABONES CADENAS DE ABASTECIMIENTO DE REFERENCIA					
Fuente: DecisionWare					
PRODUCTO	PRODUCCIÓN OFERTA	NODOS LOGÍSTICOS			DISTRIBUCIÓN DETALLISTA NUTRIREDES
		PROCESAMIENTO INTERMEDIO	TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL	DISTRIBUCIÓN MAYORISTA	
LÁCTEOS	Fincas Lecheras Acopiadores Rurales Oferta Importada	Plantas de Enfriamiento	Plantas de Procesamiento, PYMES	Centros de Distribución	Hipermercados Supermercados
CARNE DE POLLO	Granjas de Pollo, Oferta Importada	Planta de Sacrificio			
HUEVO	Granjas de Pollo, Oferta Importada		Industrias (Materia Prima)		
CARNE DE RES	Fincas Ganaderas	Planta de Sacrificio Frigoríficos	Carnes Frías	Planta de Sacrificio Frigoríficos	Tiendas Especializadas
GRANOS	Fincas Productoras Arroz y Frijol Oferta importada	Molinos Empacadores		Centros de Distribución Mayorista Corabastos Mayoristas Distribuidores Distribuidores de Marcas	Tiendas,
ABARROTES	Materia Prima	Industrias de Bogotá D.C. y Externas			NUTRIREDES
FRUVER	Fincas Productoras, Empacadores y Acondicionadores, Acopiadores Rurales		Industrias	Centros de Distribución de Supermercados, Comercializadoras, Mayoristas	Plazas de Mercado, Famas
PANELAS	Fincas Productoras de Caña	Industrias – Trapiches		Centros de Distribución Mercado Especializado Mayoristas Corabastos	Mercado Institucional
PAPA	Fincas, Acopiadores Rurales y Oferta Importada	Lavadoras Empacadoras	Industria	Centros de Distribución de Supermercados Mayoristas Corabastos	

El flujo de los productos a través de las cadenas productivas permite establecer los cuellos de botella que afectan el costo de la cadena de abastecimiento; estos sitios de congestión pueden existir para una cadena productiva específica, o pueden ser el resultado de flujo simultáneo en todas las cadenas productivas.

5. MODELAJE MATEMÁTICO

5.1. ENTIDADES

A continuación se describe un caso típico de configuración de un sistema de abastecimiento de alimentos, que soluciona el problema de localización de infraestructura necesaria para tal fin. En este sentido el modelo tiene en cuenta elementos de naturaleza funcional, y las relaciones entre los mismos que permitan armonizar el funcionamiento del sistema, se ha tomado como referencia el caso de la ciudad de Bogotá, presentado en el siguiente diagrama.



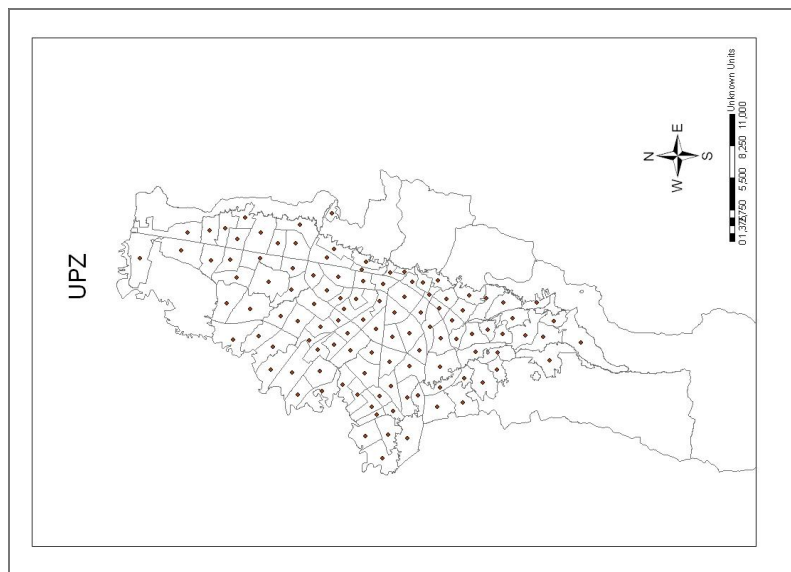
Fuente DW

A continuación se describe cada uno de los eslabones de la cadena conceptualizada.

- **Eslabón Producción.** Este eslabón agrupa los agentes que ofertan la materia prima para el sistema. Se consideran materia prima los diferentes productos que no han sufrido un procesamiento o transformación industrial. De igual forma se debe dejar claro que en el sistema se distribuyen a los consumidores finales productos procesados, y productos en bruto. La oferta de estos agentes se tiene en cuenta para el modelo matemático como flujos agregados que entran al sistema de abastecimiento por puntos específicos de transferencia.
- **Eslabón Transformación Industrial.** En este elemento de la cadena se encuentran los nodos logísticos, y las industrias externas. Aunque se han nombrado eslabón de transformación, es posible que en el mismo se desarrollen actividades que no involucren transformación industrial de los productos. Un ejemplo claro es la consolidación de cantidades de productos brutos para su despacho a las plazas logísticas de la ciudad. En este eslabón el modelo determina la cantidad de nodos logísticos a ubicar y la capacidad de sus instalaciones básicas (terminal de carga y centro de distribución). Las plantas de procesamiento se tienen en cuenta en el modelo debido a que son agentes privados que demanda productos con nivel primario de procesamiento que ofertan al sistema productos con un nivel secundario de procesamiento.
- **Eslabón de Distribución.** Son todos aquellos agentes que se convierte en el puente entre el eslabón industrial y los consumidores finales. Las cadenas detallistas (hipermercados y supermercados) se encuentran en el mismo plano que las industrias externas en el eslabón anterior, por tal razón, su efecto en el sistema tiene en cuenta la cobertura de sus equipamientos y los requerimientos de productos para poder cumplir con dicha demanda. Las **NUTRIREDES** organizan a los vivanderos de las plazas de mercado, a las tiendas de UBT, y a los clientes institucionales, etc. Su infraestructura operativa serán las Plazas Logísticas donde se realizarán las operaciones de recibo de mercancía, consolidación y despacho hacia sus clientes (detallistas). En este eslabón el modelo soportará las decisiones de ubicación y de diseño de capacidad de la infraestructura de las plazas logísticas. De igual forma diseñará cada una de las **NUTRIREDES**, es decir, determina el conjunto de UBTs que conformarán cada **NUTRIRED**. En el diagrama anterior se presenta otro elemento importante para el **SAAB** y son los llamados Operadores de Demanda. Para efectos de modelamiento los Operadores de Demanda no se incluirán debido a su carácter organizativo de la demanda que no interviene directamente con alguna decisión de infraestructura del sistema.

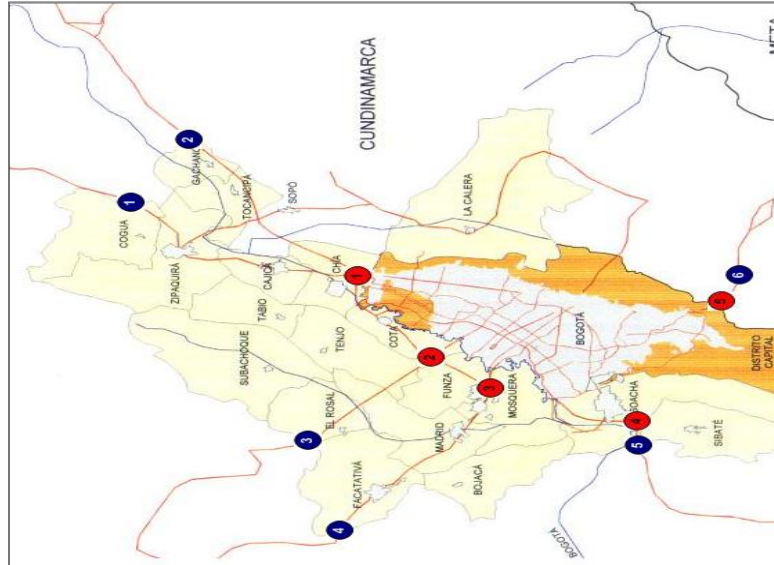
A continuación se describen cada una de las entidades que son consideradas en el modelo matemático.

- **Cadenas de Abastecimiento.** Como se mencionó anteriormente el modelo tomará como base de estudio las nuevas (9) cadenas de abastecimiento estudiadas en el **PMASAB**. Para cada uno de estos productos agregados se considerarán dos niveles de procesamiento: primario y secundario. El nivel de procesamiento secundario implica una transformación industrial del nivel primario.
- **Unidad de Planificación Territorial.** La **NUTRIRED** es la unidad territorial de planeación del **PMASAB** y se define como un conjunto de **UBTs**. Con el fin de diseñar las NUTRIREDES del sistema, la unidad básica de modelamiento matemático serán las **UPZs (UBTs)**. Los centroides o centros de gravedad de las **UPZs** se convierten en los puntos de referencia espacial para calcular diferentes parámetros del modelo matemático.



- **Demanda del Sistema.** La demanda del sistema se estima a partir de la población proyectada en cada **UBT's** y de los requerimientos de la canasta ideal de alimentación. Además el modelo tratará de tener en cuenta el efecto de distorsión sobre la ubicación geográfica de la demanda que tiene la población flotante. Para esto se debe identificar la población empleada (%) de cada **UBT** y las **UBTs** que atraen población empleada; con esto datos se realiza una redistribución de la demanda con el fin de tener una demanda más cercana a la real en cuanto a su ubicación geográfica dentro del sistema. Desde el punto de vista geográfico la demanda se concentra en los centroides de cada **UBTs**.
- **Agentes/Elementos del Sistema.** Dentro del sistema se asume un cierto grado de especialización de los diferentes elementos del sistema. Este grado de especialización determina su alcance y las relaciones con los demás. Lo anterior tiene como consecuencia, desde el punto de vista del modelamiento matemático, la generación de los conjuntos que regirán la existencia de las diferentes ecuaciones y variables del modelo. El modelaje tiene en cuenta la infraestructura actual de los detallistas (hipermercados y supermercados), así como también las plazas de mercado que se encuentran en funcionamiento y las que se encuentran proyectadas en el **PMASAB**. El modelo determina las necesidades (agregadas) de este tipo de infraestructura a través de la inclusión del concepto de infraestructura o instalación virtual de carácter público o privado.

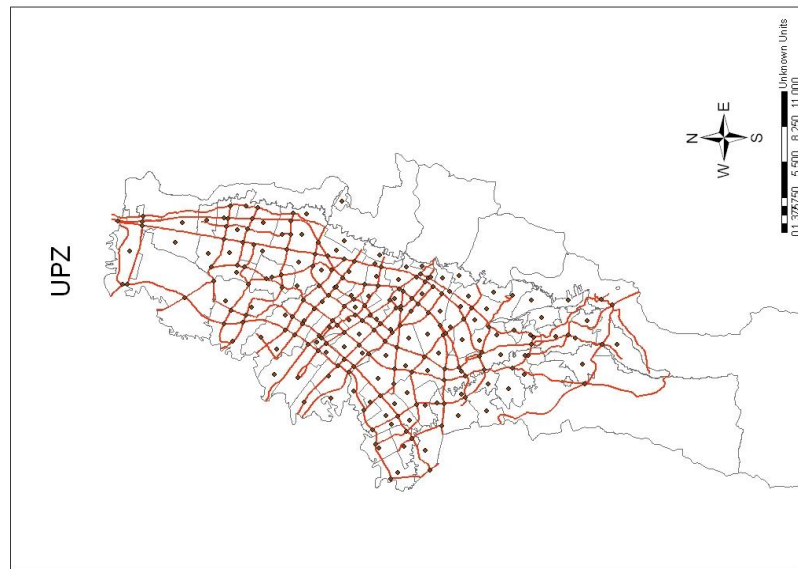
- **Oferta del Sistema (Demanda Externa).** Las ofertas de las nueve (9) cadenas de abastecimiento serán agregadas teniendo como referencia los cinco puntos de entrada a la ciudad. Dichos puntos de oferta también operan como nodos de demanda que representan la demanda externa que es cubierta por el sistema. Estos puntos de transferencia se presentan en la siguiente gráfica.



Para cada una de las posibles fuentes se hace necesario tener caracterizada su oferta, entendiéndose por esto, la necesidad de conocer el conjunto de productos ofertados y las capacidades máximas de producción (o de oferta) de los mismos.

- **Malla Vial.** El Plan de Movilidad se convierte en una restricción al momento de tomar cualquier decisión del **SAAB**. Se deben conocer los corredores de carga de la ciudad, así como las diferentes restricciones de movilidad a los vehículos de carga dentro de la ciudad. Esto determina las opciones de transporte (tipos de camiones/fletes) que tiene el sistema para movilizar los flujos de productos entre los diferentes agentes del sistema. Teniendo en cuenta la malla vial primaria y secundaria se realizarán los cálculos de las distancias entre los diferentes elementos del sistema. Dichas distancias son la base para la determinación de los costos de transporte, de la accesibilidad a las instalaciones y del cubrimiento que puedan realizar las mismas.

MAKING YOUR WORLD SMARTER



- **Medios de Transporte.** Se sume un sistema de transporte multi-modal en el que se utilizan vehículos diferentes a lo largo de la cadena de distribución, de acuerdo con su conveniencia económica. En principio se ha considerado apropiado asumir que los vehículos utilizados para movilizar la carga desde las fuentes hasta los puntos de entrada (nodos logísticos) serán tracto-camiones. Desde los nodos logísticos hasta las plazas logísticas serán camiones de 12 toneladas, y vehículos de 3.5 toneladas para realizar la distribución física de los productos. Esto permitirá una simplificación para el manejo de los costos de transporte, y de alguna forma representa el deseo de organización del flujo de vehículos de carga dentro de la ciudad.

5.2. ÍNDICES

Los índices representan las entidades incluidas en el modelo.

ÍNDICES	
Índice	Entidad Asociada
c	Regiones
e	Nivel de procesamiento
f	Puntos de transferencia
h	Nivel de procesamiento
l	Plazas logísticas
m	Detallistas / Mercados
n	Nodo Logístico
p	Productos / categorías logísticas
u, v	Unidad de planeamiento zonal UBT

5.3. CONJUNTOS

Los conjuntos determinan la existencia de variables y de restricciones.

CONJUNTOS	
Conjunto	Descripción
DPF(f,p)	Regiones c conectadas al punto de transferencia f que demandan el producto p
ECP(p)	Niveles de procesamiento e del producto p (primario, secundario)
EPP(p)	Estado primario del producto p
EPS(p)	Estado secundario del producto p
FCN(n)	Puntos de transferencia f conectados al nodo logístico n
FCP(p)	Puntos de transferencia f por los cuales fluye el producto p
FCR(c)	Puntos de transferencia f que se encuentran conectados a la región c
FUE	Puntos de transferencia f
IND	UBT 's con industria de transformación de alimentos v. El conjunto IND es un subconjunto de UBT
LCU(u)	Plazas Logísticas que pueden cubrir la demanda de la UBT u
MER	Mercados m – canales de distribución al cliente final del sistema
NCF(f)	Nodos logísticos n conectados al punto de transferencia f
NCP(p)	Nodos logísticos que manejan el producto p; $NCP(p) = Uf \cap FCP(p) \cap NCF(f)$
NLO	Nodos logísticos n
NPR	Niveles de procesamiento h
PCF(f)	Productos p que fluyen a través del punto de transferencia f
PCN(n)	Productos p que pueden ser manejados en el nodo Logístico n; $PCN(n) = Uf \cap FCN(n) \cap PCF(f)$
PCV(v)	Productos p con transformación industrial en la UBT industrial V
PDR(c)	Productos demandados por la región c
PLO	Plazas logísticas l
POR(c)	Productos ofertados por la región c
PRO	Productos o categorías logísticas.
RDE	Regiones demandantes.
REG	Regiones de abastecimiento c
ROF	Regiones oferentes c. Es un subconjunto del conjunto regiones
SPF(f,p)	Regiones c conectadas al punto de transferencia f que ofertan el producto p
UBT	Unidades básicas de planificación territorial u
UCL(l)	UBT 's u que podrían ser abastecidas por la plaza logística l
VCP(p)	UBT 'S v con industria transformadora del producto p
WCP(p)	Niveles de productividad w del producto p

5.4. PARÁMETROS

Los parámetros indican los valores de entrada del modelo.

PARÁMETROS		
Parámetro	Descripción	Unidades
AMDR_c	Área máxima disponible de la región c	ha
WPRP_{p,w}	Tasa de conversión del producto p asociada al nivel de productividad w	ton/ha
PPRE_{c,p,h}	Porcentaje de la producción total del producto p de la región c que será ofertada en el nivel de procesamiento h	%
DMPR_{r,p,h}	Demanda de la región c del producto p en el nivel de procesamiento h	
RAPN_p	Área requerida (mts ² /ton) para el manejo del producto p en un nodo logístico	mts ² /ton
DANL_n	Área (mts ²) máxima disponible para el diseño del nodo logístico n	mts ²
NMNL	Número máximo de nodos logísticos del sistema	
TATP_p	Tasa de transformación/rendimiento industrial del producto p	
CAPP_{v,p}	Capacidad máxima de procesamiento del producto p en la UBT v	
REAI_p	Requerimiento de área de instalaciones industriales por tonelada para el procesamiento del producto p	ton/m ²
AMEI_v	Área máxima disponible para realizar expansiones industriales en la UBT v	
RAPL_p	Área (mts ²) requerida por tonelada de producto p para su manejo en la plaza logística	mts ²
DAPL_l	Área máxima disponible para construcción de la Plaza Logística l	mts ²

PARÁMETROS		
Parámetro	Descripción	Unidades
DEMM_{u,m,p,h}	Demanda del producto p en el nivel de procesamiento h de la UBT u que se suplirá a través del detallista/mercado m	
CCFN_n	Costo fijo de construcción (\$) del nodo logístico n	\$
CCVN_n	Costo variable de construcción (\$/mts ²) en el centro de distribución del nodo logístico n	\$/mts ²
COFN_n	Costo fijo operación (\$) del nodo logístico n	\$
COVN_{p,h}	Costo de operación variable (\$/ton) del producto p en el nivel de procesamiento h	\$/ton
CCFL_l	Costo fijo de construcción (\$) de la plaza logística l	&
CCVL_l	Costo variable de construcción (\$/m ²) de la plaza logística l	\$/m ²
COFL_l	Costo fijo de operación (\$) de la plaza logística l	\$
COVL_{p,h}	Costo de operación variable (\$/ton) del producto p en el nivel de procesamiento h	\$/ton
CTRF_{c,f,p,h}	Costo de transporte de la región c al punto de transferencia f del producto p en el nivel de procesamiento h	\$/ton
CTFN_{f,n,p,h}	Costo de transporte del punto de transferencia f al nodo logístico n del producto p en el nivel de procesamiento h	\$/ton
CTFL_{f,l,p,h}	Costo de transporte del punto de transferencia f a la plaza logística l del producto p en el nivel de procesamiento h	\$/ton
CTFV_{f,v,p,h}	Costo de transporte del punto de transferencia f a la UBT Industrial v del producto p en el nivel de procesamiento h	\$/ton
CTNL_{n,l,p,h}	Costo de transporte del nodo logístico n a la plaza logística l del producto p en el nivel de procesamiento h	\$/ton
CTNU_{n,u,p,h}	Costo de transporte del nodo logístico n a la UBT u del producto p en el nivel de procesamiento h	\$/ton
CTLU_{n,u,p,h}	Costo de transporte de la plaza logística l a la UBT u del producto p en el nivel de procesamiento h	\$/ton
CTVU_{v,u,p,h}	Costo de transporte de la UBT industrial v a la UBT u del producto p en el nivel de procesamiento h	\$/ton
CWPP_{p,w}	Costo de producción del producto p al nivel de productividad w	\$/ha
CESI_{v,p}	Costo de la expansión del sector industrial del producto p en la UBT industrial v	\$/m ²

5.5. VARIABLES

Las variables representan las decisiones que se obtienen como resultado del proceso de optimización.

VARIABLES		
Variable	Descripción	Unidades
ADP_{c,p,w}	Área destinada a la producción del producto p al nivel de productividad w en la región c	ha
AEI_{v,p}	Área requerida en la UBT v para la expansión de la industria del producto p	m ²
ANC_n	Área (mts ²) requerida para el desarrollo del nodo logístico n	m ²
APL_l	Área requerida por la Plaza Logística l	m ²
ESI_{v,p}	Expansión de la capacidad instalada de la industria de la UBT v dedicada al procesamiento del producto p	ton
ILU_{u,l}	Variable binaria que toma el valor de 1 si la Plaza Logística l se encarga del abastecimiento de la UBT u	ton
INL_n	Variable binaria que indica si se debe construir el nodo logístico n	
IPL_l	Variable binaria que toma el valor de 1 si la plaza logística l se construye	
PPR_{c,p}	Producción total del producto p en la región c	ton
QFI_{f,v,p,h}	Cantidad de producto p en el nivel de procesamiento h (primario) que es enviada desde el punto de transferencia f a la UBT industrial v	ton
QFL_{f,l,p,h}	Cantidad de producto p en el nivel de procesamiento h que es enviada desde el punto de transferencia f a la plaza logística l	ton

VARIABLES		
Variable	Descripción	Unidades
$QFM_{f,u,m,p,h}$	Cantidad de producto p en el nivel de procesamiento h que es enviada desde el punto de transferencia f a la UBT u para el mercado m	ton
$QFN_{f,n,p,h}$	Cantidad de producto p en el nivel de procesamiento h que es enviada desde el punto de transferencia f al nodo logístico n	ton
$QFR_{c,f,p,h}$	Cantidad de producto p en el nivel de procesamiento h que es enviada desde el punto de transferencia f a la región c	ton
$QIF_{f,v,p,h}$	Cantidad de producto p en el nivel de procesamiento h (secundario) que es enviada desde la UBT industrial v al punto de transferencia f	ton
$QIL_{l,v,p,h}$	Cantidad del producto p en el nivel de procesamiento h que es enviada desde la industria de la UBT u a la plaza logística l	ton
$QIM_{v,u,m,p,h}$	Cantidad del producto p en el nivel de procesamiento h que se envía desde la UBT industrial v al mercado m de la UBT u	ton
$QIN_{n,v,p,h}$	Cantidad del producto p en el nivel de procesamiento h que se envía desde la UBT industrial v a la plaza logística l	ton
$QLF_{f,l,p,h}$	Cantidad de producto p en el nivel de procesamiento h que es enviada desde la plaza logística l al punto de transferencia f	ton
$QLI_{l,v,p,h}$	Cantidad del producto p en el nivel de procesamiento h que se envía desde la plaza logística l a la industria de la UBT u	ton
$QLM_{l,u,m,p,h}$	Cantidad del producto p en el nivel de procesamiento h que se envía desde la plaza logística l a los mercados m de la UBT u	ton
$QLN_{n,l,p,h}$	Cantidad del producto p en el nivel de procesamiento h que se envía desde la plaza logística l al nodo logístico n	ton
$QNF_{f,n,p,h}$	Cantidad de producto p en el nivel de procesamiento h que es enviada desde el nodo logístico n al punto de transferencia f	ton
$QNI_{n,v,p,h}$	Cantidad del producto p en el nivel de procesamiento h que se envía desde el nodo logístico n a la industria procesadora que se encuentra en la UBT industrial v	ton
$QNL_{n,l,p,h}$	Cantidad del producto p en el nivel de procesamiento h que se envía desde el nodo logístico n a la plaza logística l	ton
$QNM_{n,u,m,p,h}$	Cantidad del producto p en el nivel de procesamiento h que se envía desde el nodo logístico n a los mercados m de la UBT u	ton
$QPR_{c,p,h}$	Cantidad ofertada por la región c del producto p en el nivel de procesamiento h	ton
$QRF_{c,f,p,h}$	Cantidad (ton) enviada desde la región c al punto de transferencia f del producto p en el nivel de procesamiento h	ton

5.6. RESTRICCIONES

Las restricciones representan las leyes matemáticas que se deben satisfacer para tener un plan maestro de abastecimiento viable, a continuación se describen las restricciones consideradas.

RESTRICCIONES		
Restricción	Descripción	Unidades
$AMPR_c$	Área máxima de producción por región: Establece que la suma de las áreas destinadas a la producción de los diferentes productos debe ser menor que el área máxima disponible en la región c .	m ²
$OTPR_{c,p}$	Oferta total por región: Determina la cantidad ofertada total del producto p por la región c .	ton
$ORPN_{c,p,h}$	Composición de la oferta por región: Determina las cantidades ofertadas por la región c del producto p en el nivel de procesamiento h .	ton
$BRPT_{c,p,h}$	Balance de flujos en el punto de transferencia: Establece que la suma de las cantidades de Producto p en el nivel de procesamiento h que entran al punto de transferencia f deben ser igual a sus salidas.	ton

RESTRICCIONES		
Restricción	Descripción	Unidades
BRPE_{c,p,h}	Demanda de regiones externas: Esta ecuación asegura el cumplimiento de la demanda realizada por la región c del producto p en el nivel de procesamiento h al sistemas de abastecimiento.	ton
DNCD_n	Diseño de Capacidad Nodo Logístico: Esta ecuación tiene en cuenta el volumen de los diferentes productos que deberán ser manejados en el nodo logístico n para determinar su capacidad.	ton
DNAT_n	Diseño de capacidad Nodo Logístico – Control Inversión: El área disponible para la construcción del nodo logístico n debe ser mayor al área operativa del mismo. Además toma la decisión de construir o no tal instalación.	
NNLO	Cantidad de nodos logísticos: Acota el número de nodos con los cuales se debe diseñar el sistema.	und
DZIL_u	Diseño zona de integración logística: Esta restricción asigna las UBTs a la plaza logística l que se encargará de su abastecimiento. Dicha restricción diseña las zonas de integración logística del sistema.	
BFNL_{n,p,h}	Balance flujo nodo logístico: Esta ecuación asegura que la cantidad de producto p en el nivel de procesamiento h que entra al nodo logístico n , proveniente de los diferentes puntos de transferencia f , y de las plazas logísticas l , es igual a la que se distribuye a las plazas logísticas, a los mercados, y a la industria.	ton
BNSI_{v,p}	Balance Sector Industrial. Esta ecuación asegura el cumplimiento del principio de conservación de masa en los procesos de transformación industrial teniendo en cuenta los respectivos rendimientos.	ton
CASI_{v,p}	Capacidad – expansión del sector industrial: Las cantidades procesadas de cada uno de los productos p por el sector industrial de la UBT v debe ser menor a la capacidad instalada en dicha UBT más su posible expansión.	ton
ESIP_{v,p}	Expansión del sector industrial: Determina el área requerida para la expansión industrial del producto p en la UBT v con procesamiento industrial.	ton
AEIV_v	Área máxima de expansión industrial: Las áreas utilizadas para la expansión industrial de los diferentes productos en la UBT deben ser menores al área disponible en la UBT v para tal fin.	m ²
DCPL_l	Diseño capacidad plaza logística. Diseña la capacidad o el área de la plaza Logística l teniendo en cuenta los requerimientos de cada producto para su nivel de operación.	ton
DPCI_l	Diseño plaza logística – control de inversión: El área disponible para la construcción de la Plaza Logística l debe ser mayor al área requerida por la misma para su operación. Toma la decisión de construir o no tal instalación.	
DUMP_{u,m,p,h}	Cubrimiento demanda UBT. Esta ecuación asegura el cubrimiento de la demanda que se debe realizar a través del mercado m del producto p en el nivel de procesamiento h de la UBT u .	ton

5.7. FUNCIÓN OBJETIVO.

A continuación se presenta los diferentes costos que se tienen en cuenta para la evaluación económica del sistema como medida de desempeño del sistema.

- Costos de construcción (fijos y variables) de los nodos logísticos.
- Costos de operación (fijos y variables) de los nodos logísticos.
- Costos de construcción (fijos y variables) de las plazas logística.
- Costos de operación (fijos y variables) de las plazas logísticas.
- Costos de transporte.

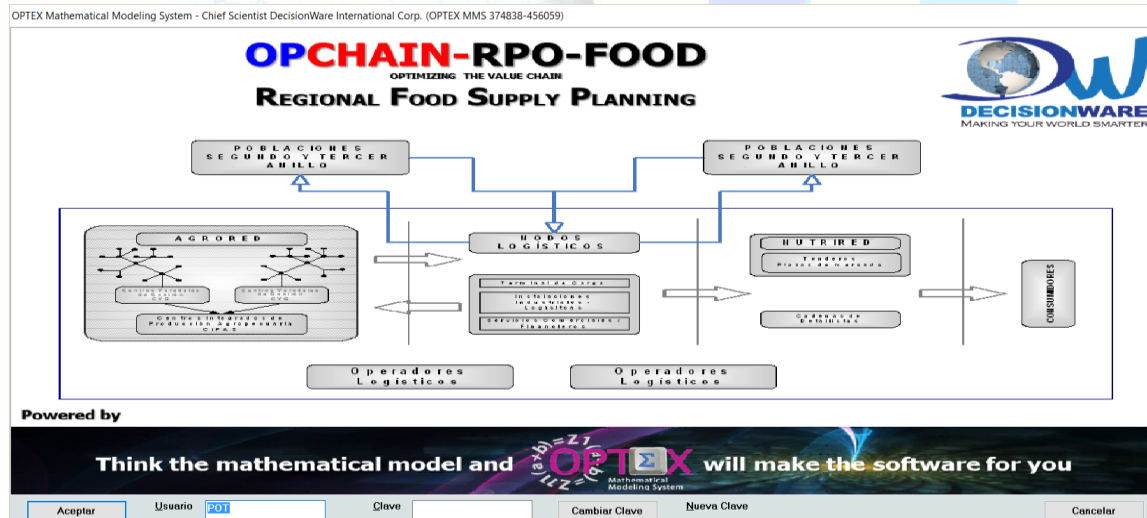
Todos los flujos entre los diferentes operadores del sistema regiones de origen, fuentes, nodos logísticos, etc, generan costos de transporte.

- Costos de transporte región – punto de transferencia – región.
- Costos de transporte punto de transferencia – nodo logístico – punto de transferencia.
- Costos de transporte punto de transferencia – plaza logística – punto de transferencia.
- Costos de transporte punto de transferencia – sector industrial – punto de transferencia.
- Costos de transporte punto de transferencia – mercados.
- Costos de transporte nodo logístico – plaza logística – nodo logístico.
- Costos de transporte nodo logístico – sector industrial – nodo logístico.
- Costos de transporte plaza logística – sector industrial – plaza logística.
- Costos de transporte punto de transferencia, nodos logísticos, plazas logísticas, sector industrial – mercados.
- Costos de producción de las regiones.
- Costos de expansión industrial.

6. IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL

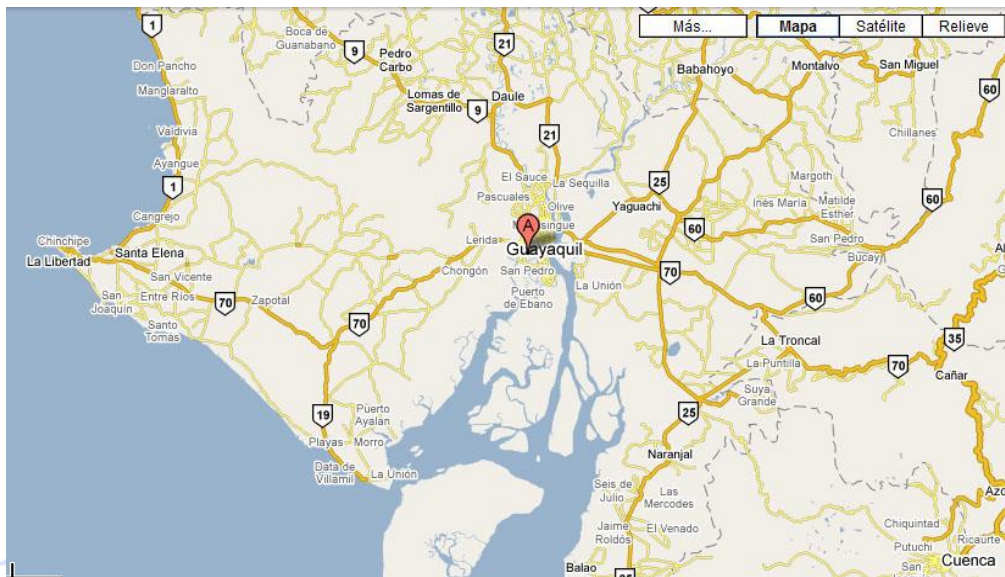
El modelo para la optimización del plan maestro se implementó utilizando **OPTEX Optimization Expert System**. Mas información en:

- <https://www.linkedin.com/pulse/optex-optimization-expert-system-new-approach-make-models-velasquez/>



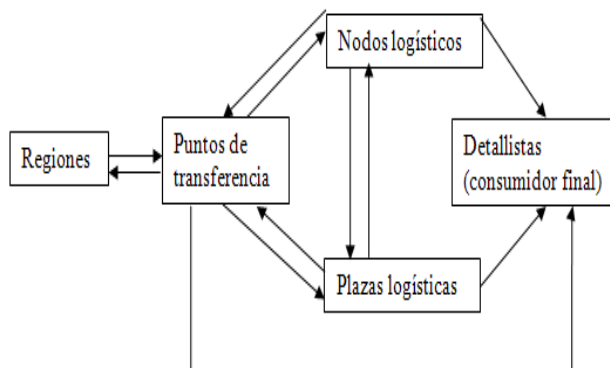
7. CASO ESTUDIO: LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

Los interesados en revisar un caso de aplicación se les invita a leer la Tesis de Grado de Magister del Ing. Carlos Cepeda, la cual se basó en la implementación del sistema **OPCHAIN-RPO-FOOD** para la ciudad de Guayaquil. Este documento puede solicitarse a jesus.velasquez@decisionware.net



El siguiente diagrama presenta la conceptualización del sistema para la ciudad Guayaquil.

OPCHAIN-RPO-FOOD - MODELO CONCEPTUAL



Índice	Entidad
c	Regiones
f	Puntos de Transferencia
n	Nodos Logísticos
l	Plazas logísticas
m	Detallistas
p	Productos / categorías logísticas
h	Nivel de procesamiento
u, v	Áreas de Desarrollo social (ADS)

A continuación se presenta un "screen shot" de la una ventana que presenta la maestra de plazas logísticas consideradas en el modelo matemático.

GENEX-MAAG - Tablas de Datos

Archivo Edición Ver Análisis Ventana Ayuda

PLAZAS LOGÍSTICAS

LOC_FLU	DES_FLU	DAPL	LLPL
PLPAS	Pascuales	6696.00	0
PLBAS	Bastión Popular	9846.20	0
PLSA4	Sauces 4	3958.90	0
PLSA9	Sauces 9	6976.00	0
PLSJA	San Jacinto	13903.10	0
PLFLD	Florida	20979.00	0
PLPRO	Prosperina	5269.00	0
PLALB	La Alborada	3875.50	0
PLSFR	San Francisco	2482.00	0
PLMOE	Mapasingue Oeste	1820.00	0
PLATA	Atarazana	1603.70	0
PLNDR	Norte	1387.40	0

Tablas de Datos

Tabla Datos	Descripción
NO_PT_PR	Nodos conectados a puntos de transferencia
NOD_PTR	Nodos conectados a puntos de transferencia
NODLOG	Maestra de Nodos logísticos
NPR_PRO	Nivel de productividad por producto
NPROCES	Maestra de niveles de procesamiento
NUPH	NodoLog - ADS - Producto - NivelProc.
NVPH	NodoLog - Industria - Producto - NivelProc.
PLALOG	Maestra de Plazas Logísticas
PLD_ADS	Plazas Logísticas que pueden cubrir la demanda de la ADS
PRO_ADS	Productos p con transformación industrial en la ADS industri
PRO_NIP	Niveles de procesamiento por producto
PRO_NOD	Productos en nodos

Tablas Índice

Código	Tabla Datos	Clave
PLALOG	PLALOG	COD_PLO

Campos Tabla de Datos

Tabla Datos	Campo	Descripción
PLALOG	CACPL	Costo del área ya construido en la plaza logística
PLALOG	CCFL	Costo fijo de construcción (\$) de la plaza logísti
PLALOG	COVL	Costo variable construcción de plaza logística
PLALOG	COD_PLO	Código de Plaza Logística
PLALOG	COFL	Costo fijo operación de la plaza logística
PLALOG	COORDX	Ubicación Coordenada x
PLALOG	COORDY	Ubicación coordenada y
PLALOG	DAPL	Área máxima para construcción de la Plaza Logísti
PLALOG	DES_PLO	Descripción
PLALOG	OK_CONS	Si ya esta construida

08:40:57

A continuación se presenta dos escenarios estudiados para el suministro de alimentos para la ciudad de Guayaquil.

**ESCENARIO 1
REDISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO ACTUAL DE PLAZAS DE MERCADO**

SAUCES 9 SAN JACINTO CENTRAL JOSÉ MASCOTE LAS ESCLUSAS		⇒	TRINITARIA ALBORADA BASTIÓN CISNE II SAN EDUARDO	
FLUJO DESDE "ENTRADA ESTE" A "PLAZAS LOGÍSTICAS"			FLUJO DESDE "NUEVO CAMAL" A "PLAZAS LOGÍSTICAS"	
Plaza Logística	Cantidad enviada (ton.)		Plaza Logística	Cantidad enviada (ton.)
Plaza Propuesta en San Eduardo	190.03		Plaza Propuesta en Cisne II	1,475.49
Plaza Propuesta en Trinitaria	12,071.86		Plaza Propuesta en San Eduardo	310.48
Plaza Propuesta en Alborada	3,998.50		Plaza Propuesta en Alborada	370.58
La Alborada	10,850.07		La Alborada	2,283.86
Atarazana	4,097.14		Bastión Popular	1,406.30
Bastión Popular	15,948.60		Florida	1,628.13
Batallón del Suburbio	17,688.33		Garay	2,026.67
Este	3,963.29		Plaza de Viveres Gómez Rendón	682.68
Florida	10,924.98		Huancavilca	3,628.50
Garay	4,401.01		Jockey Club	372.43
Gran Colombia	10,630.64		Mapasingue Oeste	154.90
Grau Ruiz	12,111.37		Mercado Santa Teresita	797.32
Guasmo Sur	17,475.92		Norte	609.60
Guasmo Norte	5,434.00		Oeste	646.05
Huancavilca	23,590.72		Pascuales	3,454.27
Jockey Club	5,004.58		Portete	2,701.22
Mapasingue Oeste	9,791.49		Prosperina	990.56
Mercado Santa Teresita	2,538.96		San Francisco	1,718.55
Oeste	4,200.31		San Gregorio	3,976.80
Pascuales	4,727.45		Trinitaria	1,856.78
Portete	1,828.57			
Prosperina	12,600.84			
San Francisco	5,125.49			
San Gregorio	2,945.28			

ESCENARIO 2 INCREMENTO DE PLAZAS DE MERCADO

ESTEROS
TRINITARIA
KM. 8 Y MEDIO
BASTIÓN
CISNE II

FLUJO DESDE "ENTRADA ESTE" A "PLAZAS LOGÍSTICAS"

Plaza Logística	Cantidad enviada (ton.)
Plaza 4 Propuesta en Esteros	20,280.88
Plaza 6 Propuesta en Trinitaria	12,071.86
Plaza 10 Propuesta en Alborada	1.44
La Alborada	14,847.13
Atarazana	4,097.14
Bastión Popular	15,948.60
Batallón del Suburbio	17,688.33
Las Esclusas	25,855.20
Este	3,963.29
Florida	10,924.98
Garay	1,344.25
Gran Colombia	10,630.64
Grau Ruiz	12,111.37
Huancavilca	6,366.60
Jockey Club	5,004.58
Mapasingue Oeste	9,791.49
Mercado Santa Teresita	2,538.96
Oeste	4,200.31
Pascuales	4,727.45
Portete	2,018.60
Prosperina	12,600.84
San Francisco	5,125.49

FLUJO DESDE "NUEVO CAMAL" A "PLAZAS LOGÍSTICAS"

Plaza Logística	Cantidad enviada (ton.)
Plaza 7 Propuesta en Cisne II	1,475.49
Plaza 4 Propuesta en Esteros	2,649.25
Plaza 14 Propuesta en Km. 8 y medio	430.59
Plaza 9 Propuesta en San Eduardo	310.48
Plaza 15 Propuesta en Km. 8 y medio	1,853.27
Plaza 10 Propuesta en Alborada	370.58
Bastión Popular	1,406.30
Las Esclusas	3,976.80
Florida	1,628.13
Garay	2,026.67
Plaza de Viveres Gómez Rendón	682.68
Huancavilca	979.25
Jockey Club	372.43
José Mascote	609.60
Mapasingue Oeste	154.90
Mercado Santa Teresita	797.32
Oeste	646.05
Pascuales	3,454.27
Portete	2,701.22
Prosperina	990.56
San Francisco	1,718.55
Trinitaria	1,856.78



DECISIONWARE
MAKING YOUR WORLD SMARTER