

DISEÑO DE UN MODELO DE PLANIFICACIÓN COLABORATIVA PARA LA CADENA DE SUMINISTRO AGROINDUSTRIAL DEL CACAO, BAJO UN ENFOQUE DE PROGRAMACIÓN BINIVEL (BPL) Y VALOR DE SHAPLEY (SHAPLEY VALUE).

Germán Herrera Vidal

Trabajo de grado para optar al título de
Magister en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA MAESTRÍA EN INGENIERÍA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.
2013

**DISEÑO DE UN MODELO DE PLANIFICACIÓN COLABORATIVA PARA LA
CADENA DE SUMINISTRO AGROINDUSTRIAL DEL CACAO, BAJO UN ENFOQUE
DE PROGRAMACIÓN BINIVEL (BPL) Y VALOR DE SHAPLEY (SHAPLEY VALUE).**

Germán Herrera Vidal

Director

Jaime Acevedo Chedid

PhD(c) en Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE MESTRÍA EN INGENIERÍA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2013

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Cartagena de Indias D.T. y C., Febrero 28 de 2013

Señores:

COMITÉ EVALUADOR MAESTRÍA EN INGENIERÍA

Programa Maestría en Ingeniería

Universidad Tecnológica de Bolívar

Respetados Señores:

Por medio de la presente hago entrega para su consideración y evaluación, el trabajo de grado titulado **“DISEÑO DE UN MODELO DE PLANIFICACIÓN COLABORATIVA PARA LA CADENA DE SUMINISTRO AGROINDUSTRIAL DEL CACAO, BAJO UN ENFOQUE DE PROGRAMACIÓN BINIVEL (BPL) Y VALOR DE SHAPLEY (SHAPLEY VALUE)”**, como requisito para optar al título de Magister en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Industrial.

Cordialmente,

GERMÁN HERRERA VIDAL

Cartagena De indias D.T. y C., Febrero 28 de 2013

Señores:

COMITÉ EVALUADOR MAESTRÍA EN INGENIERÍA

Programa Maestría en Ingeniería

Universidad Tecnológica de Bolívar

Estimados Señores

Como Director, por medio de la presente hago entrega para su consideración y evaluación el trabajo de grado titulado **“DISEÑO DE UN MODELO DE PLANIFICACIÓN COLABORATIVA PARA LA CADENA DE SUMINISTRO AGROINDUSTRIAL DEL CACAO, BAJO UN ENFOQUE DE PROGRAMACIÓN BINIVEL (BPL) Y VALOR DE SHAPLEY (SHAPLEY VALUE)”**, desarrollado por el estudiante de la Maestría en Ingeniería, énfasis en Ingeniería Industrial, Ing. Germán Herrera Vidal.

Cordialmente

JAIME ACEVEDO CHEDID

PhD(c) en Ingeniería Industrial

Director del Proyecto

***A Dios,** Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

***A mi Mamá y a mi hijo,** quienes en todo momento me apoyaron incondicionalmente en mis estudios de Maestría y tuvieron la paciencia necesaria para soportar los tiempos de ausencia.*

***A mi futura Esposa,** por su amor incondicional, sus palabras diarias de aliento y motivación para sacar este proyecto adelante.*

***A mi Director,** por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios, por sus consejos y por creer en Mí para la elaboración de esta tesis.*

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO	15
1.1 CADENA DE SUMINISTRO	15
1.2 PLANIFICACIÓN COLABORATIVA EN LA CADENA DE SUMINISTROS	21
1.2.1 Proceso de planificación e intercambio de información	26
1.2.2 Proceso de planificación y relaciones entre agentes	27
1.2.3 Tipos de colaboración en proceso de planificación	29
1.2.4 Modelos de planificación colaborativa	31
1.3 PROGRAMACIÓN BINIVEL	34
1.4 TEORÍA DE JUEGOS Y VALOR DE SHAPLEY	39
CAPITULO 2: CADENA AGROINDUSTRIAL DEL CACAO.	48
2.1 ESCENARIO MUNDIAL AGROINDUSTRIAL DEL CACAO	48
2.2 ESCENARIO NACIONAL	50
2.3 IMPORTANCIA ECONÓMICA Y SOCIAL	53
2.4 ESTRUCTURA DE LA CADENA	55
CAPITULO 3: MODELO DE PLANIFICACIÓN COLABORATIVA CADENA DE SUMINISTRO AGROINDUSTRIAL DEL CACAO	58
3.1 MODELO CONCEPTUAL DE LA AGROINDUSTRIA DEL CACAO	58
3.1.1 Arquitectura técnica para el modelado de la cadena de suministro agroindustrial del cacao	59
3.1.2 Modelo conceptual de planificación colaborativa cadena de suministro	63
3.2 MODELADO DE PLANIFICACIÓN COLABORATIVA BAJO UN ENFOQUE DE PROGRAMACIÓN BINIVEL	71
3.2.1 Metodología de modelado programación binivel	75

3.2.2	Modelo económico de programación binivel	77
3.3	MODELADO DE PLANIFICACIÓN COLABORATIVA BAJO UN ENFOQUE DE VALOR DE SHAPLEY	83
3.3.1	Metodología de modelado valor de shapley	85
3.3.2	Modelo económico de valor de shapley	86
3.4	MODELO DE PLANIFICACIÓN COLABORATIVA BAJO UN ENFOQUE HIBRIDO DE PROGRAMACIÓN BINIVEL Y VALOR DE SHAPLEY	89
CAPITULO 4: CASO DE ESTUDIO: AGROINDUSTRIA DEL CACAO EN BOLIVAR		92
4.1	SOLUCIÓN DEL MODELO ECONÓMICO DE PROGRAMACIÓN BINIVEL	94
4.2	SOLUCIÓN DEL MODELO ECONÓMICO DE VALOR DE SHAPLEY	106
CONCLUSIONES		115
BIBLIOGRAFIA		
ANEXO 1.	Parámetros del caso de aplicación para el modelado de Programación Binivel y Valor de Shapley	
ANEXO 2.	Certificados de colaboradores y evidencias de visitas para la validación de datos con APROCASUR	
ANEXO 3.	Programación en el Software Wx Máxima para el cálculo Gradientes	
ANEXO 4.	Programación en GAMS Modelo Económico Binivel	
ANEXO 5.	Resultados del cálculo de las variables con el modelos de Programación Binivel	
ANEXO 6.	Programación en GAMS de Modelo con Coaliciones	
ANEXO 7.	Cálculo de la Función Característica y de las propiedades	
ANEXO 8.	Programación en Java del cálculo del Valor de Shapley	

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Problemas analizados en planificación colaborativa bajo el enfoque de teoría de juegos	45
Tabla 2.	Tipos de juegos analizados	46
Tabla 3.	Estadísticas de siembra, cosecha y producción del Cacao por Zodes	93
Tabla 4.	Resultados por coaliciones	108
Tabla 5.	Cálculo del número de combinaciones posibles	109
Tabla 6.	Característica de la coalición W3 con instancia de seis productores	110
Tabla 7.	Formato para el Cálculo en Microsoft Excel del Valor de Shapley	112
Tabla 8.	Valores de Shapley de reparto de utilidad correspondiente a cada productor	113
Tabla 9.	Característica de la coalición W15 con instancia de Nueve productores	114
Tabla 10.	Característica de la coalición W6 con instancia de Catorce productores	115

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Tipos de relaciones en las cadenas de suministros	16
Figura 2.	Procesos de gestión en la cadena de suministro	17
Figura 3.	La casa de la gestión de la cadena de suministro.	19
Figura 4.	Modelo SCOR: Referencia de operaciones en la cadena de suministros	31
Figura 5.	Matriz de planificación de la cadena de suministro	32
Figura 6.	Modelos Analíticos en cadena de suministros	34
Figura 7.	Zonas de producción mundial de cacao	49
Figura 8.	Producción nacional de cacao por departamentos	51
Figura 9.	Producción de cacao en Colombia (Cifras en toneladas)	52
Figura 10.	Superficie sembrada de cacao (Cifras en hectáreas)	53
Figura 11.	Estructura de la cadena agroindustrial del Cacao.	55
Figura 12.	Clasificación modelo de arquitectura empresarial	61
Figura 13.	Arquitectura técnica para modelado de la cadena de suministro agroindustrial del cacao.	62
Figura 14.	Vista Física/Organizacional para el Diseño del Modelo Conceptual	65
Figura 15.	Sistema Jerárquico de decisiones	66
Figura 16.	Propuesta de Modelo Decisional en la Planificación Colaborativa	67
Figura 17.	Modelo Conceptual de la planificación colaborativa en la cadena de suministro agroindustrial del cacao.	70
Figura 18.	Metodología de Programación Binivel	76
Figura 19.	Representación gráfica del modelo Binivel propuesto	77
Figura 20.	Metodología para el modelo de valor de shapley	86
Figura 21.	Representación gráfica del modelo de Valor de Shapley propuesto	87
Figura 22.	Notación del modelo de planificación de la cadena de Agroindustrial del Cacao	93
Figura 23.	Solución del modelo enviada por Neos Server	99
Figura 24.	Diagrama de Pareto con Capacidades de Producción	100
Figura 25.	Diagrama de Pareto por grupos de productores	101
Figura 26.	Resultados de la función objetivo del modelo colaborativo de los productores	107
Figura 27.	Comparación de resultados para instancia con 6 productores	113
Figura 28.	Comparación de resultados para instancia con 9 productores	114
Figura 29.	Comparación de resultados para instancia con 14 productores	115
Figura 30.	Comparación de resultados para instancia con 19 productores	116

Introducción

Hoy por hoy, la gestión en la cadena de suministros se ha convertido en un concepto fundamental para que las empresas mejoren las relaciones con los clientes y proveedores, y desarrollen una ventaja competitiva. Lambert et al., (1998) definen la cadena de suministro como la alineación de empresas que traspasan un producto o servicio al mercado, en donde el cliente final constituye una parte integral de la misma. Otras perspectivas más recientes, las proporcionan Companys (2005) y Chandra & Tumanyan (2007), quienes establecen que la cadena de suministro es una red de organizaciones interrelacionadas que intervienen en diferentes fases del proceso productivo, mediante actividades que añaden valor, para satisfacción de los requerimientos de los clientes.

La extrema competitividad que existe en la economía actual, unida a los efectos de la globalización, obligan a la industria a encontrar nuevas vías para interactuar y satisfacer a los clientes. En una cadena de suministros, se identifican diferentes tipos de agentes: proveedores, fabricantes, distribuidores, minoristas y consumidores, los cuales colaboran para entregar los productos de forma rápida y eficaz de modo que el dinero fluya a través de la economía. Entre cada uno de estos agentes se presentan diferentes tipos de flujos: información, materiales – componentes – productos y dinero, mediante el establecimiento de intercambio relacional (Forrester, 1961). De acuerdo con Beamon, (1998), en las cadenas de suministro se distingue un primer macro proceso ascendente denominado “Proceso de Producción”, que abarca la planificación de la producción, la adquisición de los materiales, la transformación de los materiales en productos terminados y la gestión de inventario, y un segundo macro proceso descendente

denominado de “Distribución”, que abarca la planificación y gestión de la red de distribución, el transporte y entrega de productos terminados.

Una Cadena de suministros sin colaboración entre los diferentes agentes que la conforman trae consigo problemas de disminución de la productividad y de los ingresos, negociaciones y contratos a corto plazo, organizaciones independientes con estructuras verticales y objetivos individuales, problemas de comunicación entre los agentes, exceso de inventarios, desajustes en los planes, incremento en los costos, aumento del riesgo de desaparecer más fácilmente del mercado y por consiguiente una disminución de la competitividad (Chopra, 2009). Es por esto que actualmente los modelos de negocios del mundo moderno están en continuo desarrollo, entrando en nuevas tendencias y economías, nuevas áreas industriales y hasta nuevos modelos en un entorno de cada vez más competitivo. Abordar este tipo de problema en la cadena agroindustrial del cacao, es el foco de atención del presente proyecto.

Como objetivo general para solucionar el problema, se plantea el diseño de un modelo de planificación colaborativa para la cadena de suministro agroindustrial del cacao, bajo un enfoque de Programación Binivel (BPL) y valor de Shapley (Shapley Value), que permitirá maximizar los beneficios en los agentes de la cadena. La selección de la cadena de suministro agroindustrial del cacao, se fundamenta en su importancia en la economía mundial, los niveles de generación de empleo con inclusión social y la importancia del cacao en Colombia, así como las apuestas productivas para el sector, enmarcadas en el Plan de Desarrollo del Departamento de Bolívar.

En el presente trabajo se plantea primero un Modelo Económico de Optimización Binivel, en donde uno de los agentes toma el rol de líder que busca maximizar sus utilidades y a la vez se maximizar los ingresos del seguidor, que son aquellos que los abastecen de productos para poder suplir una demanda del mercado. Este

modelo se desarrolló a través del Software GAMS, para poder determinar en forma óptima los valores de la función objetivo del líder y del seguidor, así como también de las variables que intervienen.

Teniendo en cuenta que la teoría de la competitividad señala que para mantenerse en mercados competitivos y dinámicos, la diferenciación ya no se centra en los productos sino en la forma de construir relaciones duraderas y mutuamente beneficiosas entre proveedores y clientes, hoy en día la colaboración en las cadenas de suministros, atrae la atención de las empresas y de los investigadores (Chandra & Kumar, 2000 y Barratt, 2004).

Los resultados de investigación relacionados con la colaboración en cadenas de suministro, han considerado con buenos resultados: la mejora de ingresos, reducción de costos y mejora la flexibilidad operativa para hacer frente a la incertidumbre de la demanda (Simatupang & Sridharan, 2005).

A partir de eso, se plantea un segundo Modelo Económico de Valor de Shapley, el cual hace parte de la teoría de juegos cooperativos, en donde los agentes que intervienen en la cadena puedan establecer acuerdos o colisiones bajo el enfoque de colaboración, permitiendo así la solución para la problemática presentada en la presente investigación. Este modelo se desarrolló en forma óptima, mediante la aplicación de la programación en Java y con apoyo del Microsoft Excel, permitiendo así poder determinar la mejor manera de poder coalicionar entre los agentes participantes.

La colaboración entre los agentes de la cadena de suministro se ha convertido en un elemento crítico de su proceso de planificación y de los resultados obtenidos por ellos Stank, (2001). Kempainen & Vepsäläinen (2003), debido a la autonomía en el proceso de gestión por cada agente participante en la cadena, y a la cooperación en la toma de decisiones. Es por esto que se tomo como caso de

aplicación la cadena productiva del cacao en el departamento de Bolívar, por lo que en su estudio y análisis se han identificado características habilitadoras para poder construir un modelo de planificación colaborativa, que de acuerdo con Castellanos, et al (2011), a nivel nacional se evidencia que entre los agentes de la cadena hay insipiencias de carácter asociativo y de colaboración.

El presente documento está organizado de la siguiente manera: en el capítulo 1, se plantea el marco teórico a través de un resumen sobre Cadenas de Suministro, Programación Binivel, Teoría de Juegos y Valor de Shapley; en el capítulo 2, se hace una descripción de las generalidades relacionadas con las cadenas de suministro agroindustriales, desde una visión económica y social en el entorno mundial y nacional; en el capítulo 3, se hace una presentación de la forma como fue abordado el problema del modelado económico de las cadenas agroindustriales del cacao, con programación Binivel (enfoque no colaborativo) y Valor de Shapley (enfoque colaborativo); en el capítulo 4, se presentan los resultados obtenidos con el modelo económico de programación Binivel y el modelo económico del Valor de Shapley, mediante el desarrollo de un caso aplicación para la cadena agroindustrial del cacao del Departamento de Bolívar; en el capítulo 5, se presentan las conclusiones y propuestas de futuras investigaciones, como resultado de la investigación desarrollada. Al final del documento se presentan los anexos que soportan la investigación y las referencias que se utilizaron.

CAPITULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 CADENA DE SUMINISTRO

El concepto de cadena de suministro aparece claramente en los trabajos de Forrester (1961), cuando sugirió que el éxito de las empresas dependía de la interacción entre los flujos de información, materiales, pedidos, dinero, mano de obra y equipos. La comprensión y control de estos flujos es el trabajo principal en la gestión. En sus experimentos de simulación, a través de un modelo de cadena de suministro compuesto por cuatro niveles (fábrica, almacén, distribuidor y minorista), estudió el efecto bullwhip como uno de los efectos indeseados que el encadenamiento multi-etapas puede producir.

Después del trabajo de Forrester fueron apareciendo otras definiciones de "Cadena de Suministro". Burns & Sivazlian, (1978), definieron a la cadena de suministro como el conjunto de empresas que actúan en el diseño, ingeniería, mercadeo, fabricación y distribución de productos y servicios a los consumidores finales. Basado en las diferentes actividades que se desarrollan en una cadena de suministro, Stevens (1989) y Lee & Billington (1993), expresaron que: "Una cadena de suministro está conectada por una serie de actividades, como la planificación, coordinación, control de materiales y productos terminados, de acuerdo a las necesidades de los clientes", lo cual tiene que ver con dos flujos distintos dentro de la organización, uno de material y otro de información.

En los inicios del siglo XX, Min & Mentzer (2000) definen la cadena de suministro como una integración funcional entre empresas que implementan acciones para

gestionar el flujo dentro del canal de distribución desde el proveedor hasta el cliente final, en la cual todos deben contribuir en el aumento de competitividad. Chandra & Kumar (2000), la consideraron como un sistema de relaciones entre varias empresas que permite consensuar la necesidad de cubrir la demanda del cliente final y buscar el crecimiento del beneficio.

Mentzer et al. (2001), definieron tres grados de complejidad en una cadena de suministro: "Direct Supply Chain", "Extended Supply Chain" y "Ultimate Supply Chain" (Ver figura 1). La primera, se compone de una organización, un proveedor y un cliente; la segunda incluye a los proveedores de los proveedores de la organización y a los clientes de los clientes inmediatos; y la tercera incluye todas las organizaciones involucradas aguas arriba y aguas abajo en la cadena de suministro.

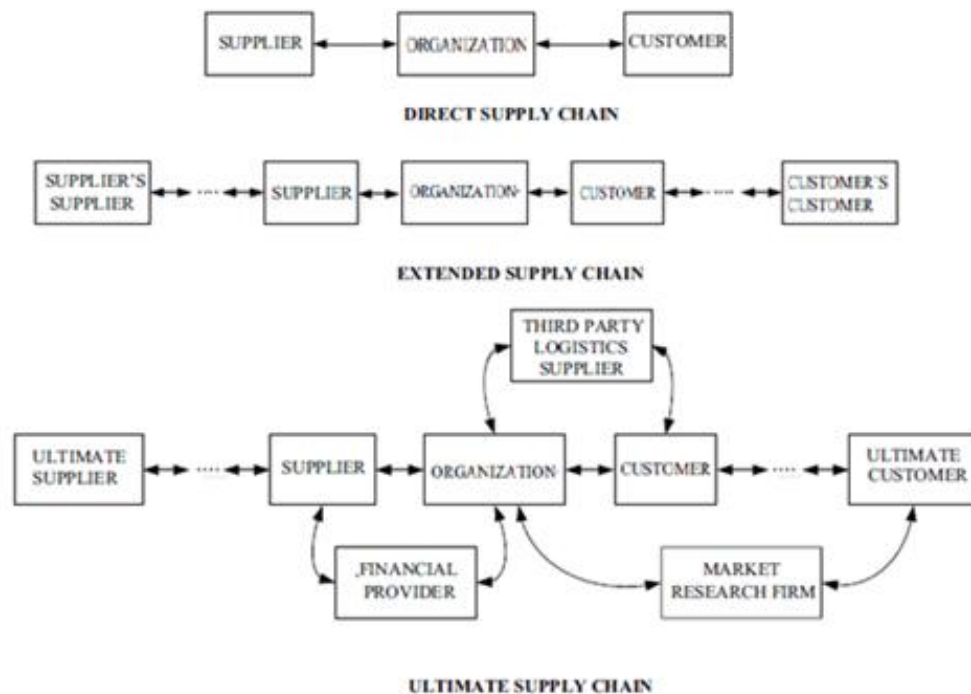


Figura 1. Tipos de relaciones en las cadenas de suministros
Fuente: Mentzer et al, 2001

El término Supply Chain Management (SCM) permitió expresar la necesidad de integrar los procesos clave del negocio, desde los proveedores originales que proveen productos, servicios e información a través de la agregación de valor para el consumidor y los otros clientes (Lambert et al., 1998). En donde se representa una cadena de suministro simplificada, mostrando los flujos y los ocho procesos claves de gestión de la cadena de suministro (Ver Figura 2).

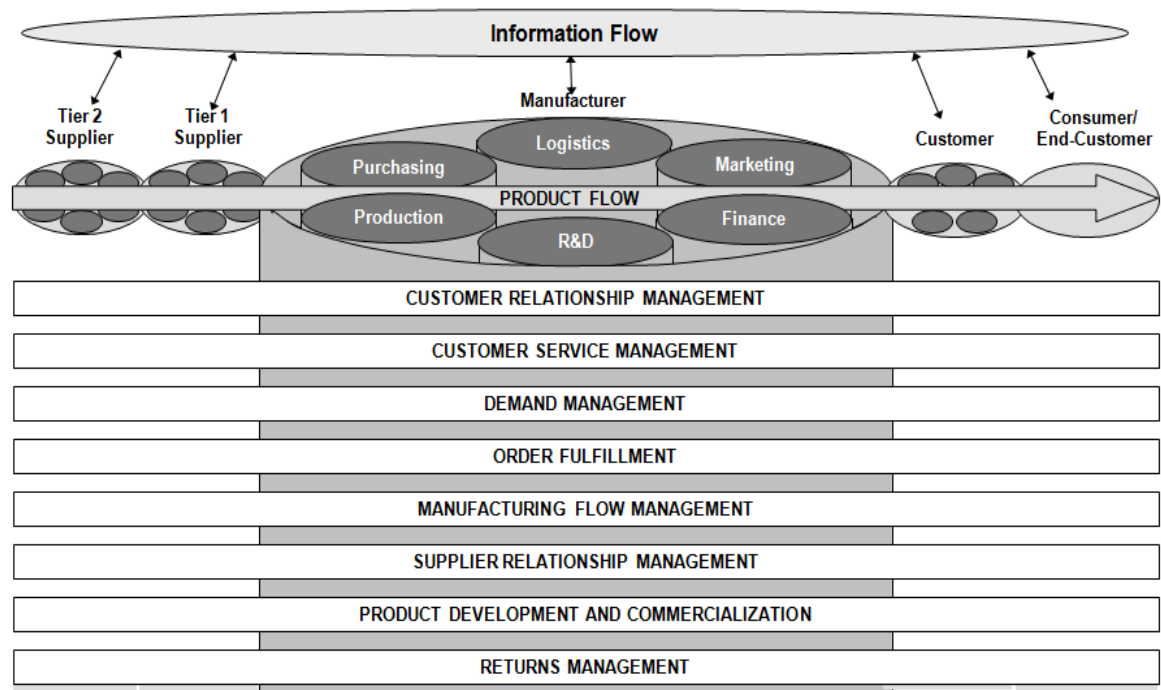


Figura 2. Procesos de gestión en la cadena de suministro
Fuente: Lambert et al., 1998

- Gestión de las relaciones con los clientes (Customer Relationship Management – CRM): establece la estructura de cómo las relaciones con los clientes se han desarrollado y mantenido, incluyendo los productos y servicios entre la empresa y sus clientes
- Gestión de los servicios a los clientes (Customer Service Management - CSM): ofrece la cara de la empresa para el cliente, incluida la gestión de los anuncios

de servicio público, y proporciona una única fuente de información de los clientes.

- Gestión de la demanda (Demand Management): proporciona la estructura para equilibrar los requisitos de los clientes con las capacidades de la cadena de suministro.
- Gestión de los pedidos (Order Fulfillment): incluye todas las actividades necesarias para definir los requisitos del cliente, el diseño de la red logística y cumplimiento con los pedidos de los clientes.
- Gestión del flujo la manufactura (Manufacturing Flow Management): incluye todas las actividades necesarias para mover los productos a través de las plantas y para obtener y gestionar la flexibilidad de producción en la cadena de suministro.
- Gestión de las relaciones con los proveedores (Supplier Relationship Management – SRM): establece la estructura de cómo las relaciones con los proveedores se han desarrollado y mantenido, incluyendo los productos y servicios entre la empresa y sus proveedores.
- Desarrollo de productos y comercialización (Product Development and Commercialization): proporciona la estructura para desarrollar y llevar al mercado nuevos productos en forma conjunta con clientes y proveedores.
- Gestión de los retornos (Returns Management): incluye todas las actividades relacionadas con el retorno, la logística inversa, control del acceso y las devoluciones.

Stadtler (2005), planteó que la gestión de una cadena de suministro se puede considerar como una casa (Ver Figura 3), en la que cada uno de los bloques que la forman permite imaginar una faceta de dicha gestión: el techo de la casa muestra los objetivos finales de la SCM (competitividad y servicio al cliente); los pilares que la soportan representan, por un lado, la integración de las unidades de negocio que forman la cadena de suministro y por otro, la coordinación necesaria

que debe existir entre ellas, a todos los niveles; la base, representa los fundamentos y procesos de apoyo para la gestión de la cadena.



Figura 3. La casa de la gestión de la cadena de suministro.
Fuente: Stadtler, (2005)

Al analizar el desarrollo histórico de las cadenas de suministro, estas pueden clasificarse en dos tipos, las denominadas cadenas de suministro tradicionales y las consideradas como cadenas de suministros modernas. Para Fiske (1991), la tipología de la cadena de suministro tradicional distingue cuatro bases de configuraciones: comunicación, coordinación, colaboración y cooperación, en donde las relaciones de entre los actores de la cadena pueden adoptar diferentes formas de relación, asociadas con el grado de la interdependencia existente a través del manejo de los conceptos de confianza, toma de decisiones, intercambio de información y congruencia entre los objetivos.

Según Venkatraman y Henderson (1998), el modelo tradicional de colaboración, basado en las relaciones costo – beneficio, el objetivo es ahora conducir a una gestión de cadena de suministro enfocado en la eficiencia operativa; con un proceso de integración desde los proveedores hasta los clientes y con un objetivo

enfocado en el aumento de valor, plantea el Modelo Lean, para llevarlo a un nuevo modelo de gestión ágil, con un muy alto nivel de cooperación e integración entre todos los participantes de la cadena de suministro, el cual denomino “Modelo Ágil”. Yusuf et al (2004), plantea la posibilidad de crear modelos híbridos, a partir de los dos anteriores.

En la cadena de suministro comunicativa, el proceso de toma de decisiones es miope, cada una de las entidades es independiente y totalmente autónoma, no hay ningún juego de objetivos globales comúnmente perseguidos, cada entidad usa su poder de negociación para alcanzar sus objetivos personales. En la cadena de suministro coordinada, el flujo de información es en toda la amplitud intercambio de datos transaccionales, de producción y procesos relacionados, esta configuración genera competitividad entre las diferentes empresas de la cadena. En la cadena de suministro colaborativa, se tiene un proceso de toma de decisiones coordinado con base a paridad, las entidades agregan objetivos comúnmente definidos y usan sus activos complementarios para ganar competitividad a largo plazo, con frecuencia los objetivos comunes de los agentes de la cadena se definen respecto a un problema en particular, buscando la necesidad de soluciones conjuntas. En la cadena de suministro cooperativa, el proceso de toma de decisiones es con base de paridades y coordinación, hay un conjunto de objetivos que comúnmente serán perseguidos por las entidades de la cadena, siendo este conjunto de objetivos definido por una entidad líder de la cadena (Lejeune & Yakova, 2005).

Yusuf et al (2004), de una revisión del estado del arte concluye que el modelo tradicional seguía siendo el modelo dominante en las relaciones entre organizaciones, sobre todo en los sectores comerciales; el modelo lean aumentaba su aplicabilidad en los sectores industriales, especialmente en el sector de automotriz y los sectores con alto nivel de participación de las nuevas tecnologías; y una escasa aplicación del modelo híbrido, lo que no significaba que

este modelo no fuera válido, sino que únicamente confirmaba el hecho de que la integración completa en las estructuras virtuales, con el cambio abierto de las capacidades y el intercambio de información entre los socios y los clientes, todavía conllevaba más riesgos que beneficios.

Lo anterior es una evidencia que los modelos de negocios modernos están en continuo desarrollo, entrando en nuevas tendencias y economías, nuevas áreas industriales y hasta nuevos modelos en un entorno de alta competitividad. Para Alemany 2009, es complicado abordar la definición de los cambios en una cadena de suministro desde un sólo punto de vista, por lo tanto, recomendaba hacerlo desde varias perspectivas, y una de éstas es la planificación colaborativa con ayuda de intercambio de información y contribución en el desarrollo de los procesos, entre los diferentes actores que conforman una cadena de suministros.

1.2 PLANIFICACIÓN COLABORATIVA EN LA CADENA DE SUMINISTROS

Dentro de la disciplina de la gestión de la cadena de suministro, diferentes autores han examinado modelos de colaboración en cadenas de suministro. Bowersox (1990), planteó que la gestión de la cadena de suministro podía ser vista como una estrategia de colaboración, basada en vincular todas las operaciones comerciales de las empresas, con el fin de lograr una visión compartida de las oportunidades de mercado. Del mismo modo, Blackburn (1991), argumentó que la colaboración en la cadena de suministro hace que sea fácil para las diferentes empresas responder eficazmente a las necesidades del cliente final con un costo mínimo.

Fiske (1991) planteo que la cadena de suministro colaborativa es caracterizada por la dependencia entre los actores y la relación de correspondencia de igualdad en el juego. Fisher (1997), apoyó la idea de hacer coincidir la oferta y la demanda

en el momento adecuado y en el lugar correcto, papel principal de la colaboración entre las empresas interdependientes a lo largo de la cadena de suministro; con base a esto, la colaboración en la cadena podía ser definida como un medio para que dos o más empresas establezcan esfuerzos conjuntos en la definición y entrega de productos a los clientes finales, para obtener mejores beneficios, lo que implica que los miembros de la cadena estén dispuestos a crear metas comunes y participar en esfuerzos conjuntos que se traduzcan en un mejor rendimiento para todas las partes.

En toda cadena suministro se distinguen claramente dos procesos básicos: el proceso relacionado con la producción y el proceso encaminado a la distribución. Para Beamon (1998), el concepto de planificación colaborativa se puede aplicar tanto al proceso de planificación de la distribución de los productos hacia los clientes finales, como en el proceso de planificación de suministros de los proveedores hacia las plantas. En este sentido, Stadler (2005) plantea que los procesos de planificación colaborativa aplicado a los procesos de planificación que interactúan con los clientes y aquellos que actúan con los proveedores, se pueden distinguir por los objetos que se intercambian y planifican colaborativamente, tal como la capacidad de suministro de los proveedores o la demanda de productos de los clientes.

Bowersox et al. (2000), sugirieron que la esencia de la colaboración en las cadenas de suministro es compartir información, desarrollar conjuntamente planes estratégicos y sincronizar las operaciones, con la expectativa de superioridad competitiva como resultado de la asignación precisa de recursos, que genere economías de escala, reduzca la duplicación y redundancia de las operaciones, y amplíe la lealtad del cliente a través de las ganancias de un servicio personalizado. Para Kumar (2001), la colaboración no es sólo un conjunto de técnicas, es algo más complejo, que está relacionada con un conjunto de actitudes y habilidades que lo hacen posible; la colaboración en las cadenas de suministro

va más allá del mero intercambio y la integración de información entre los proveedores y sus clientes, e implica la toma de decisiones tácticas conjuntas entre los socios en las áreas de planificación, previsión, distribución y diseño del producto.

Stadler (2000), plantea que la planificación colaborativa en una Cadena de Suministro, se interesa por establecer diferentes procesos de planificación y establece los distintos cambios de información, para mejorar los diferentes tipos de planificación en los diferentes niveles jerárquicos. Stadler & Kilger (2002), describieron seis tipos de colaboración en las cadenas de suministros: demanda colaborativa, inventario colaborativo, oferta colaborativa, capacidad colaborativa, transporte colaborativo, materiales y servicios colaborativos.

Según Barratt (2004), la colaboración en este contexto, es el compromiso de compartir, la confianza y el respeto, habilidades y conocimientos, y la agilidad intelectual entre los socios de la cadena. Para las diferentes estrategias de colaboración, la confianza es una condición necesaria, es por esto que si los agentes de la cadena presentan comportamientos evasivos para revelar la información e interactuar, se podría generar un conflicto e impedir la implementación de una estrategia de colaboración, configurando la posibilidad de la denominada no-cooperación entre los agentes, en donde cada uno podría asumir el rol de líder o de seguidor, según su posición de poder en la cadena (Kuk, 2004).

Para Companys 2003, la concepción jerárquica de la planificación de la producción en este tipo de cadenas, presupone diversos niveles correlacionados de planificación, en el que cada nivel tiene mayor horizonte que el siguiente y constituye para éste una reducción del intervalo de variación del objeto. En este sentido, considera la planificación como una actividad genérica y por consiguiente puede referirse a fenómenos muy distintos, con enfoques y grado de detalle,

también diferentes. Según Genin (2003), la SCM es un enfoque integrado, que consiste en controlar todo el flujo de materiales e información desde los proveedores hasta los clientes finales; su objetivo es reducir la necesidad de capital de trabajo de la empresa, así como satisfacer a los clientes poniendo a su disposición una cantidad de productos al costo más bajo.

Un adecuado comportamiento de colaboración incluye la coordinación que permite ampliar y mantener las relaciones a largo plazo, que incluye la institucionalización y adaptación de las alianzas con los proveedores y el mantenimiento de esas relaciones, como un valor fundamental para trabajar en equipo para proporcionar el poder compartir los riesgos y los beneficios en conjunto (Woo & Ennew, 2004; Giunipero et al., 2006).

Para Stadler (2002) y Dudek et al. (2005), la planificación colaborativa en el contexto de cadena de suministro, se centra en la coordinación de la planificación y el control de las operaciones entre los distintos miembros de la cadena. Se interesa por establecer los diferentes procesos de planificación y los distintos cambios de información, para mejorar los tipos de planificación en los niveles jerárquicos, basado en la identificación de los distintos dominios de planificación locales como partes de una cadena de suministro y en establecer los intercambios de datos necesarios entre los distintos dominios, con el fin de mejorar las planificaciones locales. Sin embargo, reconocen que el enfoque jerárquico asume una única tarea de planificación centralizada que coordina las operaciones a través de la cadena de suministro; cuando esa coordinación central sólo pueda realizarse para partes aisladas en una cadena de suministro, aparece la pregunta de si hay formas alternativas de coordinación.

Según Poirel & Bonet, (2006), la cadena de suministro incluye el conjunto de operaciones de distribución física, gestión de la producción y gestión de la oferta, llevadas a cabo por una serie de empresas de tipo industrial, comercial o de

servicios en una lógica de coordinación para abastecer la demanda. En este sentido, el desempeño de la cadena depende fuertemente de la colaboración entre los miembros que la integran, concentrando esfuerzos mancomunados para lograr ventajas competitivas, a través de la implementación de una estrategia de colaboración a lo largo de la cadena logística (Verwaal & Hesselmans, 2004; Lejeune & Yakova, 2005; Sepulveda & Frein, 2008).

En los estudios más recientes en donde se consideran los nuevos escenarios de negocios en el marco de la globalización de los mercados, se define la red colaborativa como el resultado de una combinación de colaboraciones verticales y horizontales entre empresas y organismos, en gran medida autónomas, distribuidas geográficamente, heterogéneas en cuanto a su entorno operativo, cultura, capital social y objetivos, que se unen para poder ofrecer una gama de servicios más completos, con el objetivo de poder atender proyectos que demanden una alta capacidad de respuesta, la cual no podría ser soportada individualmente por alguno de los miembros de la red (Bustamante, 2009 y Sun & Ma, 2010).

Es claro que la planificación de una cadena de suministro colaborativa, depende de su estructura. Sun & Ma (2010), clasifica la estructura de las cadenas de suministro, principalmente por los niveles que la conforman: el nivel 1, incluye a los proveedores, los cuales están preocupados por la cantidad de órdenes de compra que realizan los fabricantes aguas abajo y de la maximización del beneficio, gracias a la cantidad de materia prima que se utiliza en la producción; en el nivel 2, están los fabricantes, los cuales por un lado, se ven obligados a competir contra otros en el mismo nivel, y por el otro lado, tratar de averiguar la información sobre las tendencias del mercado de los minoristas, con el fin de pre-estimar la capacidad de producción y la cantidad de compra de materias primas; y en el nivel 3, están los minoristas, los cuales responden directamente a las demandas de los productos terminados de los consumidores para maximizar sus

ganancias, llevando a cabo negociaciones con los fabricantes aguas arriba, que están en una relación de competencia mutua.

Existen varias formas de planear las decisiones en la cadena de suministro colaborativa y que están relacionadas con la planeación de la estrategia de operaciones, la administración de la demanda, la planeación y programación de la producción, los esquemas de contratación y los mecanismos de distribución. La planificación conjunta en este sentido, es usada para alinear a los miembros y coordinar las decisiones en cuanto a reabastecimiento, inventarios, colocación y entrega de las ordenes, y se basa en el hecho de que los socios colaboradores deben trabajar juntos para resolver los problemas de la cadena de suministro (Kumar, 2001; Min et al., 2005; Cao et al., 2010).

1.2.1 Proceso de planificación e intercambio de información

La información sigue siendo considerado como uno de los elementos principales y críticos del proceso de planificación de la producción de las cadenas de suministro, más concretamente de la gestión interna entre los departamentos o unidades de negocio de una organización, y de la gestión externa entre dos o más organizaciones aliadas en la cadena de suministro (Cooper, 1997). Una división de los tipos de informaciones que intercambian los socios de la cadena de suministro, que parte de diferentes formas y niveles de medición, distinguen, la relacionada con la información operativa y la pertinente a la información estratégica (Gustin, 1995; Moberg, et al, 2002).

El proceso de planificación y el intercambio de información, es una estrategia conjunta que permite, mejorar la relación entre los agentes de la cadena, optimizar su rendimiento y servir mejor a los consumidores finales, al permitir conocer las tendencias de información financiera y las necesidades del mercado, para desarrollar nuevos productos y construir relaciones significativas a largo plazo

(Christopher, 1998; Berry & Naim, 1994; Stadtler, 2000). Consecuentemente, permitir a los miembros de la cadena, capturar, almacenar y proveerse de información necesaria para asegurar la toma efectiva de decisiones, considerando la relevancia, exactitud, transparencia, oportunidad y fiabilidad de la información (Simatupang y Sridharan, 2002).

Gavirneni (2006) establece que en presencia de intercambio de información, el rendimiento de la cadena de suministro se puede mejorar debido a las variaciones de precio que los proveedores pueden ofrecer. Así, el intercambio de información ayuda a erradicar las incertidumbres potenciales vinculadas a los comportamientos inesperados de la cadena de suministro (Ryu et al., 2009). En este sentido, el intercambio de información resulta ser una herramienta muy importante para lidiar con problemas frecuentes de la cadena de suministro, tales como: excesivos niveles de inventario y bajos niveles de servicio.

1.2.2 Proceso de planificación y relaciones entre agentes

Desarrollar y mantener una relación de colaboración requiere tiempo y esfuerzo, sin embargo, hay ciertas relaciones que pueden facilitar la tarea; la mayoría de estas relaciones se dividen en tres grandes grupos: personas, organización y tecnología (Mentzer et al., 2000). Una relación de colaboración exitosa implica que uno de los socios dirija el proceso de planificación colaborativa y defina las reglas y estándares de colaboración, asimilándose al modelo organizativo de empresa extendida, sin embargo, se conocen experiencias satisfactorias de cadenas de suministro en las que los diferentes socios se han organizado a modo de empresa virtual, sin que ninguna tenga una posición de liderazgo sobre las demás (Kilger y Reuter, 2002). De acuerdo con Ellegaard, et al., (2003) establecen que las relaciones del comprador y las relaciones con los proveedores, es muy compleja e incluye muchas teorías, tales como los estudios organizacionales, la economía

industrial, la relación industrial de marketing, la gestión estratégica de la cadena de suministro, la adquisición y el desarrollo estratégico.

Woo y Ennew (2004), plantearon que la calidad de la relación entre los socios ha sido examinada desde la perspectiva de la habilidad de comunicación de la empresa y el grado de confianza que se tiene. Un bajo nivel de confianza ha sido la causa de la aparición de comportamientos conflictivos entre los socios, que llegan a afectar los resultados finales; sin la confianza entre los socios, la realización de un eficiente proceso de gestión de la cadena de suministro, establecido sobre el cambio de las capacidades y actuaciones comunes, es imposible (Currall y Judge, 1995; Johnston, 2004). Es claro que el nivel de confianza entre los actores, refleja también las interdependencias en las relaciones entre los miembros de la cadena e influye sobre su grado de satisfacción y resultados.

Daugherty et al. (2006), plantearon que uno de los impedimentos más importantes que deben enfrentar los socios de la cadena de suministro, se refiere a la confianza y credibilidad existente entre ellos y la información dispuesta a intercambiar; sin embargo, las ganancias reales de un proceso colaborativo solo se podrá apreciar cuando los miembros de la cadena de suministro, trabajen de manera conjunta en el desarrollo de planes que sean mutuamente beneficiosos. No obstante, establecen que una de las mejores maneras para establecer la confianza, es reconocer el hecho de que la confianza no es algo que se incorporará inmediatamente.

Según Stadler & Kilger (2008), una vez se ha acordado la relación de colaboración entre empresas de la cadena de suministro, se inicia un proceso de planificación colaborativa que pasa, normalmente, por las siguientes etapas de forma cíclica: i) Definición, establecimiento de la manera de trabajar conjuntamente para conseguir una meta común; ii) Planificación Dominio Local, constituye la base para la

comunicación entre los socios de la colaboración; iii) Intercambio de Planes, los socios de la colaboración intentan mejorar la calidad y fiabilidad de sus planes, intercambiando información; iv) Negociación y Gestión de Excepciones, los socios de la colaboración tienen una visión más global, que les permite evaluar las posibilidades de alcanzar los objetivos predefinidos; v) Ejecución, un plan ajustado lleva a órdenes de aprovisionamiento, producción y compras, que permiten alcanzar los objetivos previstos; vi) Medida del Desempeño, se miden los efectos de llevar a cabo la planificación global.

1.2.3 Tipos de colaboración en proceso de planificación

Kanter (1994), en su investigación establecieron varios tipos de colaboración de acuerdo al grado de integración entre las organizaciones en el horizonte de planeación, como son: (i) integración estratégica, implica el contacto permanente entre los principales líderes para discutir los objetivos generales o los cambios en cada empresa; (ii) integración táctica, involucra profesionales para desarrollar planes y proyectos específicos; (iii) integración operativa, proporciona medios para llevar a cabo el día a día del trabajo, (iv) integración interpersonal, construye una base necesaria para construir y sostener el futuro de una relación; (v) integración cultural, personas involucradas con habilidades de comunicación y conciencia cultural, para que sirvan de puente entre las diferencias de las organizaciones.

Stadtler y Kilger (2002) describieron cinco tipos de colaboración: (i) Demanda colaborativa, (ii) Inventario colaborativo, (iii) Oferta colaborativa, (iv) Capacidad colaborativa, (v) Transporte colaborativo, (vi) Materiales y servicios colaborativos. De forma complementaria, Sahay (2003) indicó la existencia de dos tipos de cadena de suministro colaborativa, las cuales están relacionadas con la colaboración con los proveedores y los clientes. Rey (2001), Simatupang y Sridharan (2002) y Barratt (2004) plantearon dos posiciones que conducen a la identificación de dos nuevos tipos de colaboración, la colaboración vertical o

jerárquica y la colaboración horizontal, en donde la integración horizontal ofrecía ventajas similares a cada una de las empresas de un mismo sector industrial, al lograr acceso preferencial a servicios críticos; la implementación de estrategias emergentes en ambas clases de integración, se conoce como “Estrategia de Colaboración Controlada”, ya que dicha colaboración inter-empresarial se concreta a través de la adquisición de los capitales de los diversos integrantes.

Stank (2001), ya planteaba que la colaboración entre los miembros de la cadena de suministro se había convertido en un elemento crítico de su proceso de planificación y en los resultados obtenidos por ellos. Kemppainen y Vepsäläinen (2003), habían confirmado la existencia de varias opiniones sobre un nuevo posicionamiento de funciones y responsabilidades, abarcando desde las preferencias del mantenimiento de la autonomía en el proceso de gestión por cada organización participante en la cadena de suministro, hasta la posibilidad de dejar la función de gestión a terceros, debido a las dimensiones y el complicado carácter del proceso, delegando en la organización dominante de la cadena la responsabilidad de coordinación, integración y dirección de la misma.

En investigaciones más recientes, Soosay et al. (2008) resaltan diversos tipos de colaboración que han sido utilizados por los actores de la cadena, para mejorar la gestión de los procesos: i) Alianzas Estratégicas, entendida como las relaciones entre empresas a largo plazo; ii) Empresas Conjuntas, en donde las compañías buscan a menudo nuevos mercados y proporcionan en conjunto bienes y/o servicios; iii) Acuerdos de Cooperación, muchas organizaciones buscan acuerdos de cooperación con otras organizaciones en respuesta a los rápidos cambios en la tecnología; iv) Integración Virtual, visto como esfuerzos de colaboración entre los agentes unidas por tecnologías de telecomunicaciones; y v) Integración Vertical y Horizontal.

1.2.4 Modelos de planificación colaborativa

Existen diferentes tipos de modelos de planificación, dentro de estos se encuentran los modelos conceptuales, que consisten en herramientas descriptivas, que subrayan los aspectos principales y las variables relevantes implicadas en un problema específico o estructuras empíricas que proponen directrices para abarcar los problemas de la cadena de suministros (Lario, F. & Pérez, D. 2005). Uno de los modelos conceptuales de referencia más utilizados por los administradores de las cadenas de suministro, es el modelo denominado “Supply Chain Operations Reference – SCOR” (ver Figura 4), creado en 1996 por el Supply-Chain Council (SCC), corporación independiente sin fines de lucro.

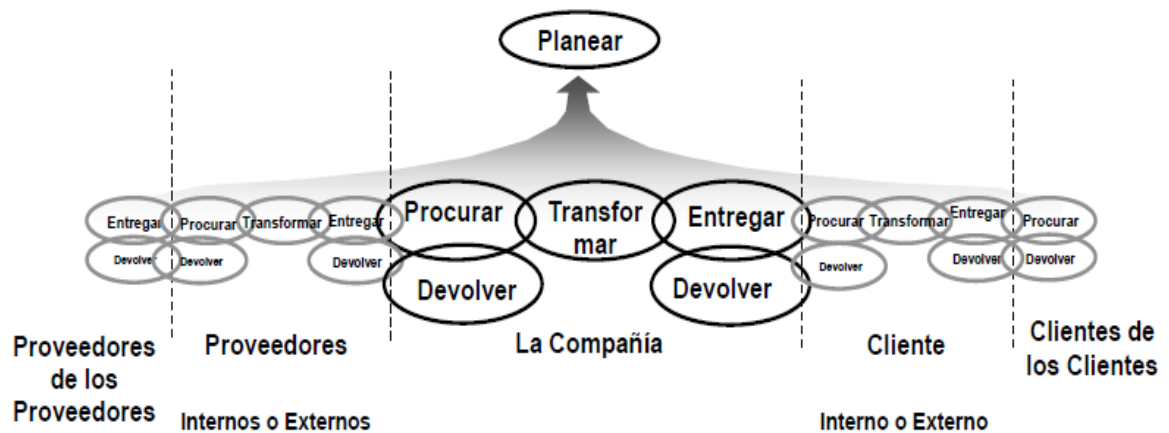


Figura 4. Modelo SCOR: Referencia de operaciones en la cadena de suministros
Fuente: Calderón y Lario, (2005)

El modelo SCOR es una herramienta para representar, analizar y configurar las Cadenas de Suministro; como una herramienta de diagnóstico estándar Inter-Industrias para la gestión de la cadena de suministro, el modelo proporciona un marco único de los procesos de negocio, indicadores de gestión, mejores prácticas del sector y tecnologías utilizadas para apoyar la comunicación en una estructura unificada. El modelo SCOR desarrolla los procesos de gestión relacionados con la planificación, el aprovisionamiento, la manufactura, la

distribución y la devolución. A través de este modelo los administradores de las cadenas de suministro, pueden tener una visión global de la cadena, permitiéndoles analizar, medir y determinar oportunidades, entre otros. Es utilizado principalmente para unificar términos y dar un formato estándar para describir la cadena de suministro, hacer benchmarking e implementar mejores prácticas (Supply Chain Council 2010; Calderón y Lario, 2005).

Rohde et al., (2000), identificaron varias tareas de planificación relevantes y las clasificaron en función de dos dimensiones: el horizonte de planificación y el proceso de la cadena de suministro, consolidando un modelo conceptual denominado matriz de planificación de la cadena de suministro (SCP) (Ver Figura 5). Rohde y Wagner (2002), propusieron una única tarea de planificación centralizada para la cadena; esta planificación centralizada requiere un alto grado de integración entre las diferentes unidades que forman parte de ella. La cuestión radica en cómo se puede integrar y coordinar la planificación entre las diferentes actividades de una empresa a nivel interno y externo con clientes y proveedores, buscando que los objetivos de cada función estén alineados con el objetivo global de la organización.

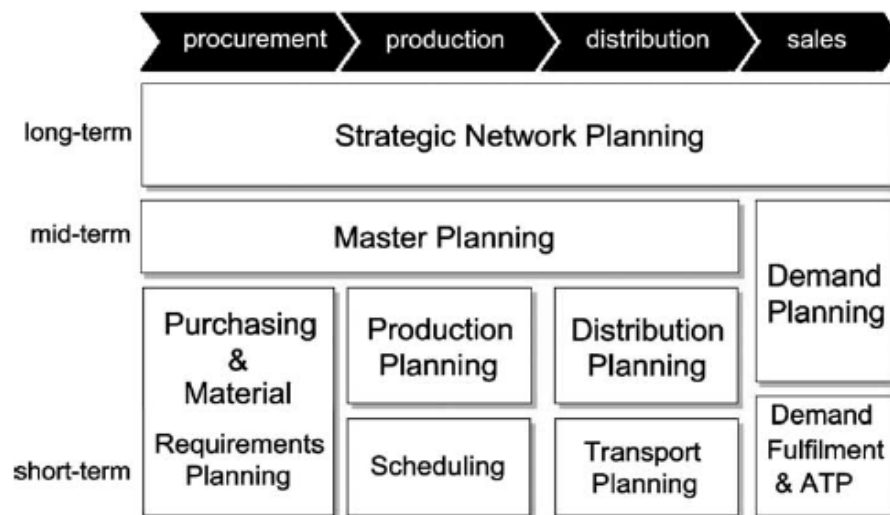


Figura 5. Matriz de planificación de la cadena de suministro
Fuente: Rohde et al, 2000

A partir del concepto básico de planificación colaborativa planteado a principios del siglo XX, surgió el modelo conceptual de “Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment” (CPFR), como un modelo de procesos de negocio que trata de reducir las variaciones entre la demanda y los suministros, cuya misión es crear relaciones colaborativas entre compradores y vendedores, mediante procesos codirigidos y disposición a compartir información (McKaige 2001; Songini 2002). Según, VICS (2004), El CPFR es una práctica empresarial que combina la inteligencia de varios socios comerciales en la planificación y el cumplimiento de la demanda del cliente, que involucra las ventas y mejores prácticas de marketing, para planificar el abastecimiento de la cadena y los procesos de transformación, reducir el inventario y costos logísticos, para aumentar la disponibilidad de los productos al cliente.

En otro sentido, se han propuesto varios métodos de modelado analíticos para las cadenas de suministro. Beamon et al. (1999), propuso una clasificación de los modelos de análisis y diseño de la cadena suministro, en cuatro categorías: Modelos Analíticos Deterministas, Modelos Analíticos Estocásticos, Modelos Económicos y Modelos de Simulación. Los modelos deterministas asumen que todas las variables se conocen y pueden especificarse con certeza, mientras que los modelos estocásticos tienen al menos una variable cuyo comportamiento sigue una distribución de probabilidad particular. Los modelos analíticos se basan en técnicas de la Investigación Operativa, en donde se destaca: la Programación Matemática, la Teoría de Inventarios, la Teoría de la Decisión, los Procesos de Markov, los Procesos Jerárquicos, la Teoría de Juegos, y los modelos de aplicaciones informáticas (IT), entre otros (Min & Zhou 2002; Lario F., & Pérez D., 2005).

Para los autores, los modelos deterministas están compuestos por uno o varios objetivos y los modelos estocásticos son subclasificados en teoría de control óptima y modelos de programación dinámica. Los Modelos IT reflejan la variedad

de muchas aplicaciones informáticas para el modelado de la cadena de Suministro, ayudando a su rápido desarrollo; estos modelos apuntan a la integración y la coordinación a lo largo de la Cadena de Suministro, basándose en aplicaciones en tiempo real, entre las que se incluyen una amplitud de diferentes sistemas y módulos, como los sistemas de gestión de almacenamiento (WMS), los de planificación de recursos de empresariales (ERP), los sistemas de información geográficos (GIS), los sistemas de planificación de la demanda, distribución y sistemas de transporte (ver Figura 6).

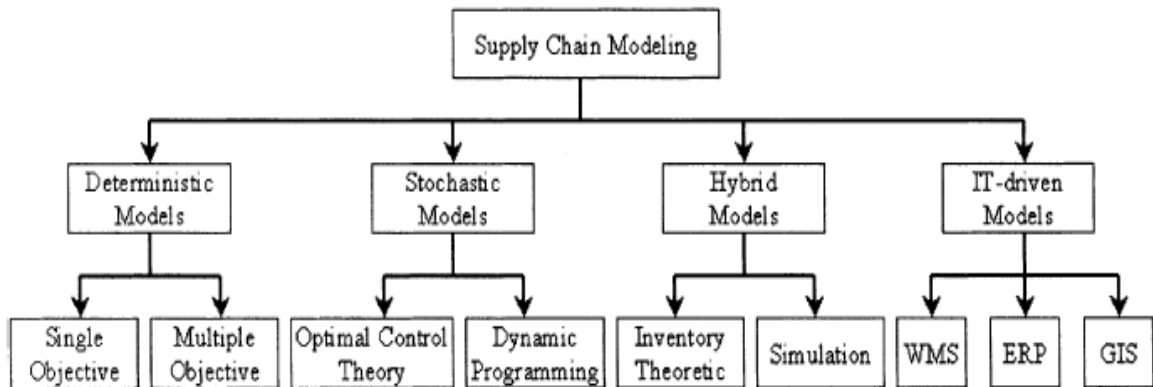


Figura 6. Modelos Analíticos en cadena de suministros
Fuente: Min & Zhou (2002)

1.3 PROGRAMACIÓN BINIVEL

Muchos problemas de planificación en la cadena de suministros requieren de la toma de decisiones de los diferentes agentes que la componen, y en la mayoría de los casos cada uno busca su propio beneficio y para conseguirlo pueden llegar a afectar negativamente los intereses de los demás actores a lo largo de los niveles de la cadena de suministro. Las decisiones multinivel son consideradas como una herramienta importante en todo proceso de planeación en donde hay la presencia de más de un actor.

En el marco del modelado matemático, Calvete et al. (2007) plantearon que la

programación multinivel generaliza para el tratamiento de los sistemas jerárquicos, la programación matemática estándar. Los sistemas modelados a través de esta herramienta, están caracterizados por la existencia de distintos niveles de decisión con una jerarquía establecida entre ellos, de manera que cada nivel tiene un objetivo, controla sólo algunas de las variables y sus decisiones se ven afectadas por las tomadas en los niveles superiores. Así, el primer decisor elige los valores para las variables que controla para minimizan (maximizar) su función objetivo, estos valores condicionan parcialmente el valor de la función objetivo del segundo decisor y pueden restringir los valores que éste puede elegir para las variables que controla.

Dados los valores elegidos de las variables que controla el primer decisor, el segundo decisor elige valores para las variables que controla para minimizan (maximizar) su función objetivo. Esta elección, junto con la del primer decisor, puede determinar parcialmente el valor de la función objetivo de un tercer decisor y restringir los valores que éste puede tomar para las variables que controla. Continuando de esta manera, el tercero y los decisores subsiguientes en su momento, eligen valores de las variables que controlan para minimizan (maximizar) su función objetivo. De esta manera, todos los decisores, excepto el situado en el nivel superior ven afectado el conjunto de decisiones factibles por las decisiones tomadas por los decisores de los niveles superiores. (Bard, 1998 y Dempe, 2002).

La estructura del modelo matemático para la Programación Multinivel es:

$\min_{x_1} f_1(X_1, \dots, X_n)$ donde, dado X_1, X_2 es solución de

$\min_{x_2} f_2(X_1, \dots, X_n)$ donde, dado X_1 y X_2, X_3 es solución de

$\min_{x_3} f_3(X_1, \dots, X_n) \dots$

...

$\min_{x_{n-1}} f_{n-1}(X_1, \dots, X_n)$ donde, dado X_1, \dots, X_{n-1}, X_n es solución de

$$\min_{x_n} f_n(X_1, \dots, X_n)$$

s. a : $X \in S$

Donde:

X_i y f_i $i = 1, \dots, n$ denotan, respectivamente, el vector de variables controladas por el decisor del i -ésimo nivel de decisión y su función objetivo, respectivamente.

Según estos mismos autores, debido a la complejidad del problema multinivel, el cual crece a medida que existen mayor número de niveles de decisión, en la literatura se han considerado en su mayoría, problemas de programación multinivel con sólo dos niveles de decisión, a los que se denomina problemas de programación binivel. Estos modelos se caracterizan por tener un subconjunto de variables restringido a ser una solución óptima de un problema de optimización parametrizado por el resto de las variables. Entre las características que debería tener un problema jerárquico para poder ser modelado como un problema binivel, se han señalado las siguientes:

- En el proceso intervienen dos decisores, con objetivos independientes y a menudo conflictivos.
- Cada decisor sólo ejerce el control directo sobre ciertas variables.
- El proceso de toma de decisiones se realiza en dos etapas secuenciales.
- El decisor del primer nivel trata de seleccionar un plan de acción que optimice su objetivo sujeto a la reacción racional del decisor del segundo nivel.
- No hay incertidumbre en el proceso de toma de decisiones.

Para Greenberg (2001), la Programación Binivel es un caso particular de la programación multinivel, un enfoque de optimización en el que las variables de decisión pueden separarse en grupos (llamados “niveles”) que representan subsistemas independientes, o casi independientes en el problema original, con el

fin de explotar algunos principios de descomposición que faciliten los algoritmos de solución. Por ejemplo, cuando en un programa lineal la matriz de restricciones tiene una forma particularmente dócil de tratar o cuando un subconjunto de variables (niveles) está obligado a ser la solución de un problema de optimización de un subproblema del planteamiento original, las variables que participan en la función objetivo principal son llamadas “del nivel superior” y representan las posibles acciones del líder que toma decisiones, mientras que el resto de las variables de decisión están en “el nivel inferior” y equivalen a las acciones que pueden tomar los seguidores del líder en las interacciones.

Un problema de Programación Binivel (BPL) se refiere a un problema de programación matemática cuando una de las limitaciones de un problema de optimización, es también un problema de optimización. Se utiliza para enfrentar diversos entornos económicos e industriales mediante la participación de varios grupos que se interconectan en una estructura jerárquica. Cada grupo puede ser un individuo o un organismo que tiene objetivos independientes, quizás mutuamente contradictorios (Bard 1983, 1988).

La programación binivel (BPL) es un caso particular de la programación Multinivel, en donde se consideran dos niveles de decisión: el nivel superior, donde hay un líder, quien controla el vector de decisión $x_1 = (x_{11}, \dots, x_{1n_1})$, y el nivel inferior, donde están los seguidores, quienes controlan el vector de decisión $x_2 = (x_{21}, \dots, x_{2n_2})$. El sistema global está sujeto a un conjunto de restricciones que determinan la región factible $S \subset E^{n_1+n_2}$ para x_1 y x_2 , donde E^n denota un espacio n – dimensional. (Guzmán et al. 2008).

El líder y el seguidor juegan “el juego de duopolio”, donde la idea básica es la siguiente: el líder escoge el vector de decisión x_1 que maximice su utilidad o que minimice sus costos; sea esta función $Z_1(x_1, x_2)$. El seguidor teniendo en cuenta la decisión del líder, escoge su vector de decisión x_2 que de igual forma maximice su

utilidad o que minimice sus costos; ósea esta función $Z_2(x_1, x_2)$. Si las funciones son lineales, el problema se formula de la siguiente manera:

$$\max Z_1(x_1, x_2) = C_{11}x_1 + C_{12}x_2 \quad (\text{Problema de nivel alto})$$

Donde el nivel bajo resuelve:

$$\max Z_2(x_1, x_2) = C_{21}x_1 + C_{22}x_2$$

Sujeto a:

$$S = \{(x_1, x_2): A_1x_1 + A_2x_2 \leq b \text{ y } x_1, x_2 \geq 0\}$$

Para la solución del problema se asume que el nivel alto primero especifica x_1 y el nivel bajo especificara x_2 teniendo total conocimiento de la decisión del nivel alto (Guzmán et al. 2008).

Es posible definir la programación de dos niveles como "un programa matemático que contiene un problema de optimización en las restricciones". Para la perfecta comprensión, es necesario centrarse simultáneamente desde dos puntos de vista: por un lado, como extensión lógica de la programación matemática, y por otro, como la generalización de un problema peculiar de la teoría de juegos (juego de Stackelberg).

Este concepto de juego de Stackelberg en la teoría de juegos no cooperativa se propuso en Stackelberg (1952), es muy conocido y puede verse como un juego con dos participantes en un mercado donde hay una firma dominante que optimiza su propio criterio considerando la reacción de la firma dominada. Cuando la firma dominante optimiza su decisión considerando la mejor respuesta del seguidor se dice que se ha encontrado un equilibrio de Stackelberg. Este esquema es el mismo que se considera en programación Binivel.

El problema de Programación Binivel se refiere a problemas de optimización

jerárquica conformado por un líder, que se ven limitados por otro problema de optimización conformado por un seguidor. Se utiliza a menudo para describir situaciones en las que varios agentes, interconectados en una estructura jerárquica, con objetivos independientes, buscan la solución a problemas que se encuentran relacionados entre sí como es el caso en donde el líder establece parámetros que influyen en el seguidor o viceversa.

A raíz de la complejidad en la búsqueda de la solución, el enfoque clásico para la solución de estos problemas de programación Binivel, ha sido el de transformar el problema de dos niveles en uno de un solo nivel, reemplazando el problema de optimización de nivel inferior por sus condiciones de optimalidad Karush-Kuhn-Tucker (KKT). Siendo estas condiciones necesarias y suficientes para definir el óptimo del problema de nivel inferior, y se consigue sustituyendo el nivel inferior del modelo con las condiciones KKT.

$$\max f_1(x)$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} \nabla f_i(x) - \sum_{t=1}^T w_t \nabla g_t(x) &= 0 & i = 2, \dots, k \\ w_t g_t(x) &= 0 \\ g(x) &\leq 0 \\ w_t &\geq 0 \end{aligned}$$

Siendo T es el número de restricciones., ∇_1 es el gradiente con respecto a x_1 (de las variables controladas por el subnivel i).

1.4 TEORÍA DE JUEGOS Y VALOR DE SHAPLEY

Para los investigadores que han analizado esquemas de colaboración en las cadenas de suministros por la teoría de juegos, no sólo es importante saber si es

posible y estable la colaboración, sino también la forma razonable de compartir los beneficios que conjuntamente se obtienen de ella. En el transcurrir de los años se han estudiado diversas estructuras de cadenas de suministros mediante la utilización de la teoría de juegos, con diferentes parámetros y variables.

Nash (1950) y Shapley (1953), desarrollaron los conceptos sobre la teoría de juegos, que hoy no sólo sirven como fundamentos para saber si es posible y estable la cooperación, sino también para determinar la forma razonable de compartir los beneficios que conjuntamente se obtiene de ella. Según Gibbons (1992), la teoría de juegos se define como el estudio de los problemas de toma de decisiones que involucran a múltiples agentes; en la teoría de juegos se evidencian esquemas de juegos cooperativos y esquemas de juegos no cooperativos, en donde la diferencia radica en la relación que se establece entre los jugadores. En el juego no cooperativo cada jugador en el juego, optimiza su propio objetivo y no se preocupa por el efecto de sus decisiones con respecto a los demás, es decir actúan de una manera independiente, en cambio en el juego cooperativo, se preocupan por formar coaliciones para obtener beneficios de la cooperación.

Desde el punto de vista de la teoría de juegos, los aspectos más interesantes del proceso de planificación colaborativa en las cadenas de suministro, son la cooperación, coordinación y competitividad entre sus participantes. Esta relación se debería limitar a las formas descentralizadas de la cadena, en las cuales tienen lugar varios e independientes procesos de decisión, con diferentes jugadores, tácticas, roles y escenarios (Stewart & Fenn, 2006). En las cadenas descentralizadas, en las cuales el proceso de búsqueda de soluciones óptimas requiere un análisis y una valoración de varias alternativas, los conceptos de teoría de juegos aplican plenamente (Goyal & Gupta, 1989).

La teoría de juegos no-cooperativos permite analizar las formas con las cuales

actúan los participantes para conseguir la maximización de sus metas individuales, en escenarios competitivos caracterizados por una falta de comunicación. Dentro de las soluciones que se proponen se pueden distinguir: el equilibrio de Nash, utilizado cuando los socios anuncian de manera simultánea sus estrategias, y el equilibrio de Stackelberg, que parece ser el más aplicable a los problemas de funcionamiento en la cadena de suministro, de acuerdo con el cual uno de los socios de la cadena de suministro puede de manera anticipativa tomar la posición de liderazgo mientras que los demás moderan sus decisiones buscando la mejora en este nuevo escenario (Jorgensen, 1986; Wang & Parlar, 1989).

En los casos de acuerdos de cooperación, cuando participan dos, tres o más organizaciones, los conceptos de solución de conflictos más utilizados propuestos por la teoría de juegos son el valor de Shapley. La solución pasa por la formación entre los participantes de la mejor coalición dentro de las posibles, para que se garantice la estabilidad a largo plazo y un justo reparto de los beneficios, es decir, que ninguno de los participantes esté interesado en romper el acuerdo, en algún momento dado. Una de las condiciones más importantes que debe cumplirse para ello, es la posición simétrica de los participantes en la coalición (Shapley, 1953).

El valor de Shapley introduce un concepto de solución bajo una perspectiva axiomática, en donde la solución está definida como consecuencia de la satisfacción de determinadas propiedades. Shapley, demostró que existe solamente una configuración de pagos, $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, para que se satisfagan los siguientes axiomas:

Axioma 1: Simetría y tratamiento igualitario. Dos jugadores que presentan la misma función de costos obtendrán la misma asignación de costos. El valor del juego no depende de la designación de los jugadores.

Axioma 2: Optimalidad de Pareto y eficiencia. La tarifa permite asignar la totalidad de los costos correspondientes a la actuación más eficiente.

Axioma 3: Jugador nulo o fantasma. Se define un jugador nulo como aquel que no aporta ningún beneficio a la coalición en términos de economías de escala. Un jugador nulo no se verá beneficiado por la regla de asignación de costos.

Axioma 4: Aditividad. La configuración de pagos derivada de la suma de dos juegos es igual a la suma de las configuraciones de pago de los dos juegos calculadas por separados. La condición de aditividad permite articular la realización de un proyecto en distintas fases o unificar distintas actuaciones manteniendo invariada la asignación de costos de los usuarios.

Axioma 5: Monotonía en costos. Todos los miembros de una coalición participan de un eventual aumento del costo del proyecto. Ningún participante conseguirá un beneficio/perjuicio en la asignación de costo a causa de un aumento/disminución de costos del proyecto. Esta propiedad resulta particularmente útil en caso que:

- Haya incertidumbre sobre el costo final del proyecto.
- Sea necesario alcanzar un acuerdo de cooperación que incluya el reparto de costos en fase de anteproyecto.

El valor de Shapley es la única configuración de pagos que satisface a priori los axiomas anteriores, este se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$\phi_i(v) = \sum_{S \in N: i \in S} \frac{(S-1)!(n-S)!}{n!} v(S) - v(S - \{i\})$$

Donde:

$N = \{1, 2, \dots, n\}$ conjunto de elementos que representan a los jugadores

$S \in 2^n$ subconjuntos que representan las coaliciones

$v(S)$ representa el valor de la coalición

$i(v)$ representa el conjunto de imputaciones

Owen (1995), explicó la fórmula del Valor de Shapley de manera heurística. Suponga que los jugadores (elementos de M) se han puesto de acuerdo para reunirse en un punto del tiempo y espacio específico. Naturalmente, por las fluctuaciones aleatorias, ellos aparecerán en diferentes momentos, sin embargo, la probabilidad de llegada, asumiendo todas las órdenes de llegada, para cada uno de los jugadores termina siendo la misma, $1/n!$. Los términos que vienen después de la sumatoria corresponden a las posibles combinaciones hechas por el número de jugadores correspondientes a cada coalición y el número de posibles coaliciones que no incluyen al jugador i . Suponga entonces que, si un jugador i llega y se encuentra con los agentes de la coalición $S-\{i\}$, entonces él recibe un valor $v(S)-v(S-\{i\})$, como el valor marginal que contribuye el jugador i a la coalición S . Entonces el valor de Shapley $(v)_i$ será el valor esperado del jugador i bajo este esquema de llegadas aleatorias.

A lo largo del tiempo, se han implementado algunos algoritmos de formación de coaliciones, es el caso de Shehory y Kraus (1993), sugirieron dos tipos de algoritmos para la formación de las coaliciones y la distribución de los vectores de pago, en uno de ellos, utilizando el Valor de Shapley como solución del juego. Cada uno de estos algoritmos se adapta a distintos entornos y aplicaciones que buscan la cooperación entre múltiples agentes.

El primer algoritmo es el de negociación, el cual empieza formando coaliciones vía negociación entre agentes, empezando por las coaliciones de un solo agente y terminando en la gran coalición; en cada uno de los pasos, la negociación entre agentes se hace con base en el pago extra que queda luego de que posiblemente se haya unido a la coalición; uno o más agentes pueden estar ofreciendo un pago para entrar a una coalición en común; básicamente se queda en ella quien plantee la mejor oferta; para mantener un orden en la negociación se establece una relación de fortaleza entre coaliciones, con el fin de determinar quien ofrece primero. El segundo algoritmo es visto desde las coaliciones de un solo jugador

hasta la consolidación de la gran coalición; primero, el agente externo pide toda la información relevante y luego se hace la computación de las 2^n posibles coaliciones; para cada una de las posibles coaliciones, el agente externo debe calcular el pago correspondiente, el cual se determina por una función de maximización de variables; y una vez obtenido el Valor de Shapley para cada agente, los contacta nuevamente para informarle de los resultados.

Para Shehory y Kraus (1999) el proceso de la formación de coaliciones usa el algoritmo "*Klusck and Shehory*", que consiste en:

Paso 1. Cada agente calcula el costo de su propio plan de expansión, como si estuviera desconectado del sistema.

Paso 2. Cada agente calcula el valor de su plan de expansión si formara un equipo con cada una de las coaliciones posibles en el momento, para este paso es necesario un coordinador que se encargue de reunir toda la información necesaria para hacer el plan de tal manera que no sea en detrimento del funcionamiento del sistema eléctrico.

Paso 3. Cada agente calcula todos los valores BSV para cada una de las coaliciones posibles, estos valores son organizados en una lista de preferencias teniendo en cuenta la racionalidad individual, esto es, que el agente reciba por lo menos el mismo beneficio que recibiría si trabajara solo.

Paso 4. Fase de negociación: cada agente envía propuestas de coaliciones a los agentes posibles de acuerdo a los valores obtenidos en el paso 3, la oferta consiste en enviar al posible compañero, el valor que obtendría si colaboraran. Si ambos agentes encuentran que es beneficioso formar una coalición, esta es formada. Esta decisión es comunicada a los demás agentes para que estos borren de sus listas de preferencias a los agentes en cuestión, el proceso continuo hasta que no sea posible formar coaliciones con los valores actuales.

Paso 5. El Proceso se repite de nuevo desde el paso 2 hasta que se forme la gran coalición o hasta que en la fase de negociación, ningún agente acepte ninguna

oferta y no se puedan formar coaliciones.

Según Shapley (1953), para distribuir los costos se emplea un algoritmo de inducción hacia atrás que aprovecha los valores BSV calculados en cada uno de los pasos, y tiene en cuenta la historia de la formación de las coaliciones. Comenzando por la gran coalición, o las coaliciones finales, se divide esta en las dos coaliciones fundadoras, entre las cuales se divide la utilidad usando la misma relación del BSV, donde $v(C)$ sería el valor de la coalición resultante. Como estas coaliciones fundadoras también fueron formadas de otras, se repite el proceso, teniendo en cuenta que el nuevo valor de $v(C)$ para estas es el obtenido en la separación anterior, este proceso se continúa hasta llegar a los agentes individuales.

La aplicabilidad de la teoría de juegos en los procesos de planificación colaborativa de una cadena de suministro, ha sido objeto de múltiples trabajos, pues los comportamientos de los agentes de la cadena, por su nivel de autonomía, pueden llegar a acuerdos de cooperación para maximizar la utilidad o minimizar los costos del sistema. Cachón (1999), quien utilizó en su modelo de teoría de juegos con un horizonte infinito, el problema estocástico en el inventario de la demanda entre un proveedor y un minorista; en su teoría de los juegos consideró la posibilidad de repartir beneficios, los contratos de recompra, y el descuento por cantidad para desarrollar la política óptima de inventario conjunta. Diversas estructuras de cadenas de suministro se han estudiado, mediante la Teoría de Juegos, con gran variedad de parámetros, variables y funciones (Ver Tabla 1).

Tabla 1: Problemas analizados en planificación colaborativa bajo el enfoque de teoría de juegos

Problemas	Autores
Fijación de precios de transferencia	Rosenthal (2008); Xie & Neyret (2009); Anderson & Bao (2010); Leng & Parlar (2010); Li et al. (2010); Huang et al. (2011); Biazaran & Gharakhani (2011)
Manejo y gestión de inventarios	Wang et al. (2004); Leng & Parlar (2010); Huang et al. (2011); Janeiro et al. (2011)

Descuento por cantidad	Sarmah et al. (2006); Xiao & Qi (2008); Zhang & Huang (2010)
Eficiencia de la publicidad	Huang & Li (2001); Xie & Neyret (2009); Biazaran & Gharakhani (2011)
Opciones de contrato	Wang et al. (2004); Hennem & Arda (2008); Zhao et al. (2010)
Asignación de ahorros en los costos	Esmaeili et al. (2009); Leng & Parlar (2009)
Asignación de beneficios y estabilidad	Nagarajan & Susic (2008)
Intercambio de capacidad	Renna y Argoneto (2011)
Disminución del riesgo	Xiaofen et al. (2011)
Intercambio de información concerniente a pronósticos	Ren et al. (2010)

Fuente: Construcción propia

La mayoría de los autores plantearon modelos de no cooperación fundamentados en el Equilibrio de Nash y en el Equilibrio de Stackelberg, los cuales analizaron para comparar el beneficio esperado en el sistema con los modelos de cooperación basados en el Valor de Shapley, Eficiencia de Pareto y Teorema de Owen (Tabla 2).

Tabla 2 Tipos de juegos analizados

Autores	Juego no cooperativo			Juego cooperativo		
	Equilibrio Stackelberg	Equilibrio Nash	Prog. Lineal	Valor de Shapley	Efic. Pareto	Teorema de Owen
Huang & Li (2001)	X	X	X		X	
Wang et al. (2004)		X	X			
Hennem & Arda (2008)	X	X				
Nagarajan & Susic (2008)		X		X		
Rosenthal (2008)			X	X		
Xie & Neyret (2009)	X	X		X		
Esmaeili et al. (2009)	X				X	
Leng & Parlar (2009)		X		X		
Leng & Parlar (2010)	X	X				
Li et al. (2010)		X				
Zhao et al. (2010)		X			X	
Ren, et al. (2010)					X	
Dobos & Pinter (2010)				X		

Biazaran & Gharakhani (2011)	X	X		X		
Huang et al. (2011)		X				
Renna & Argoneto (2011)						X
Xiaofen et al. (2011)				X		

Fuente: Construcción propia

CAPITULO 2

CADENA AGROINDUSTRIAL DEL CACAO.

El cacao es uno de los productos que cuentan con ventajas comparativas en Colombia derivadas de las condiciones naturales para su producción, esto es, de las características agroecológicas en términos de clima y humedad, y su carácter de sistema agroforestal conservacionista del medio ambiente. Una porción no despreciable del cacao que se produce se cataloga como cacao fino y de aroma, lo que lo hace deseable para la producción de chocolates finos. (Espinal, C. et al 2005)

Históricamente, el cacao es una planta de origen amazónico, de las riveras del Río Napo, Caquetá y Putumayo. Fue desarrollado como cultivo antes de la conquista por las comunidades Mayas en México y Centro América, posteriormente fue propagado al Caribe, Suramérica, África central y sureste de Asia (Mojica y Paredes 2006, Aranzazu y Martínez 2008). En la actualidad el cacao es cultivado en la franja geográfica tropical húmeda, ubicada desde los 18° Norte hasta los 20° Sur de la línea ecuatorial (Valle, R. 2007).

2.1 ESCENARIO MUNDIAL AGROINDUSTRIA DEL CACAO

El cacao es un cultivo desarrollado principalmente por productores de economía campesina, la expansión y su comercialización se ha incrementado a partir de 1990, siendo Costa de Marfil y Ghana, los dos principales productores de cacao en el mundo (Gadsby, 2002; Ariza, 2006). En el contexto internacional al referirse a cacao se toman en cuenta el cacao en grano y los productos elaborados con

éste, tal es el caso de la pasta o licor de cacao, la manteca de cacao, el cacao en polvo no edulcorado, la torta de cacao y los granos descortezados de cacao, así como cualesquiera otro producto que contenga cacao. La producción de dicho grano, según las normas establecidas en los acuerdos de la Organización Internacional del Cacao (ICCO), se da en el período de doce meses comprendido entre el 1 de octubre y el 30 de septiembre, el cual es denominado el año cacaotero.

Los productos de cacao se clasifican en dos grandes categorías: cacao corriente (“basic beans” en los Estados Unidos y “bulk beans” en Europa), destinado a la producción de manteca de cacao, cacao en polvo que es usado como aromatizante para recetas culinarias y para la preparación de bebidas instantáneas; y el cacao fino de aroma (“flavor beans” en los Estados Unidos y “finos” en Europa), usado en la elaboración de chocolates tipo delikatessen, ya que le confiere características de aroma y sabor especiales al producto (ICCO, 2005; MADR, 2006).

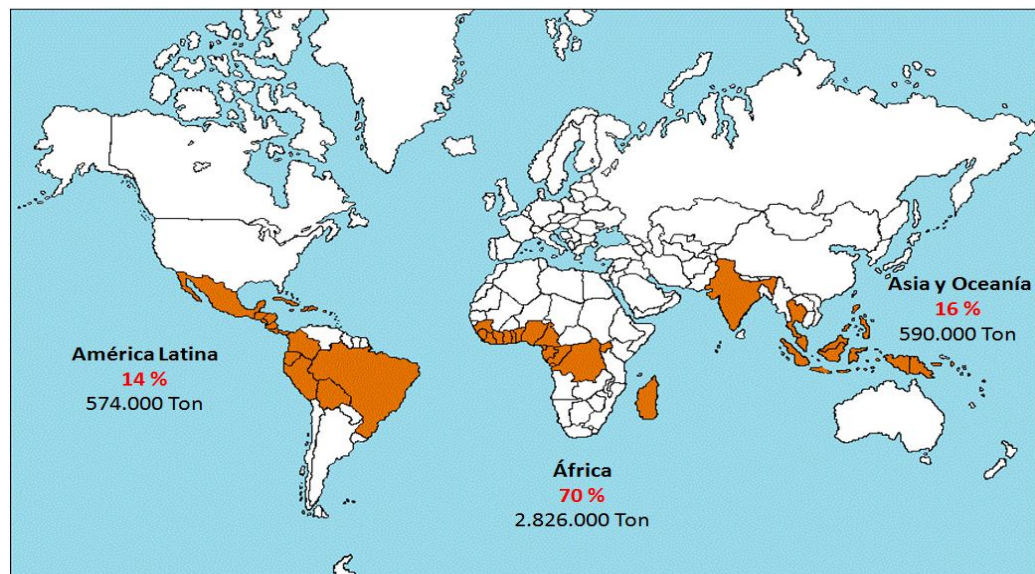


Figura 7: Zonas de producción mundial de cacao

Fuente: Elaboración propia, a partir de: ICCO, Organización Internacional del Cacao, informe anual 2011-2012

Según la Organización Internacional del Cacao (ICCO), El cacao se cultiva principalmente en África Occidental (70%) equivalente a 2.826.000 toneladas, Asia y Oceanía (16%) correspondiente a 590.000 toneladas y América Central y Sur América (14%) con 574.000 toneladas. Para un balance anual promedio de producción de 4 millones de toneladas de cacao (ver Figura 7).

Los países con mayor área sembrada en cacao, como lo muestra la Gráfica 1, son en orden de importancia Costa de Marfil, Ghana y Nigeria, destacándose muy por encima de otros países productores Costa de Marfil con extensiones cercanas a los dos millones de hectáreas cultivadas con cacao. En el continente americano se destaca Brasil por el área destinada a la producción de cacao, sin embargo, no supera las 700.000 hectáreas de cultivo aunado al hecho que la superficie cultivada ha decrecido en los últimos años debido a los problemas con la enfermedad denominada “escoba de bruja”, que tiene una fuerte incidencia en éste país. Por otra parte, considerando la región de Asia y Oceanía sobresale Indonesia como país con las mayores extensiones dedicadas al cultivo de cacao.

El cacao a nivel mundial se produce en minifundios o bajo sistemas de agricultura de subsistencia (entre el 90% y el 95% de la producción de cacao corresponde a pequeños agricultores con menos de 5 hectáreas). Además solo se produce en los países ubicados en la franja tropical. Siendo los principales consumidores son Europa con el 41,1% y América con el 21,9%. (Castellanos et al, 2011)

2.2 ESCENARIO NACIONAL

Colombia comparte con Ecuador y Perú el centro de origen de la especie. En el país se cultiva cacao desde la época de la Colonia, según se comprobó en una expedición realizada en el año 1761, Norte del Darién (Urabá) y en la Cuenca del Río Atrato, donde los indígenas de la región comercializaban el grano.

Otro reporte del año 1620, indica que en el Valle del Cauca se cultivó cacao en los municipios de Puerto Tejada y Buga, según las crónicas, este cacao era considerado de primera calidad con frutos de color rojo y sabor amargo, pero suave y aromático, denominado cacao criollo o caucano, con calidad superior al que se producía en Ecuador. Además, en el año 1763, en la zona del Valle del Río Magdalena y sus afluentes, el cacao se encontró como cultivo. Luego se cultivó cacao común o complejo trinitario en diferentes mezclas (Barros 1981, García 1985).

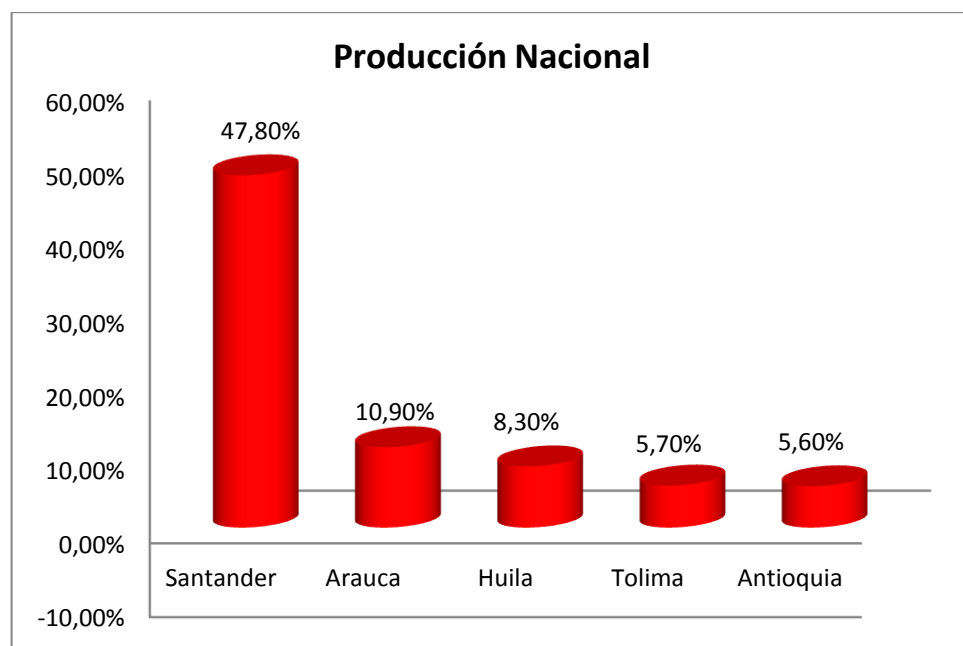


Figura 8. Producción nacional de cacao por departamentos
Fuente: Elaboración propia a partir de: Balance Tecnológico de la Cadena Productiva y Agroindustrial del Cacao en el departamento de Bolívar 2011

A nivel Nacional, los primeros intentos por cultivar cacao en Colombia datan de principios del siglo XIX. Desde entonces se empezó a comercializar la producción del chocolate y con el tiempo se popularizó su consumo a Producción de Cacao en Colombia. Cerca del 80% de la producción del cacao en Colombia se concentra en 5 departamentos: Santander (47,8%), Arauca (10,9%), Huila (8,3%), Tolima

(5,7%), Antioquia (5,6%). Siendo la producción en 2011 de 44.240 toneladas¹. (ver Figura 8.).

Según el comportamiento histórico de la producción de cacao en el país, en los últimos 6 años, el mayor registro de producción se presentó en el año 2009, con 44.740 toneladas. A partir de ese momento la producción descendió y últimamente a partir del año 2011 se empieza a incrementar (ver Figura 9).

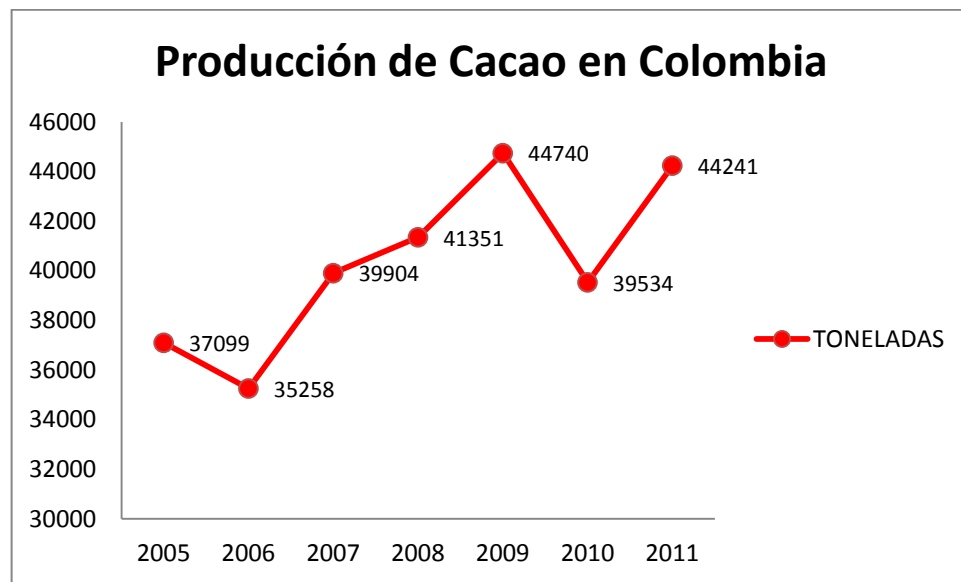


Figura 9. Producción de cacao en Colombia (Cifras en toneladas)
Fuente: Elaboración propia a partir de: El Espectador, "Colombia quiere cacao", 11/09/2011.

En lo referente a las áreas cultivadas, esta presenta un comportamiento creciente anual, teniendo en cuenta que desde el año 2005 hasta el 2011, el número de hectáreas aumentaron de 107.255 a 143.601 hectáreas (ver Figura 10).

¹ Castellanos, O. et al (2011). Balance Tecnológico de la Cadena Productiva y Agroindustrial del Cacao en el departamento de Bolívar.

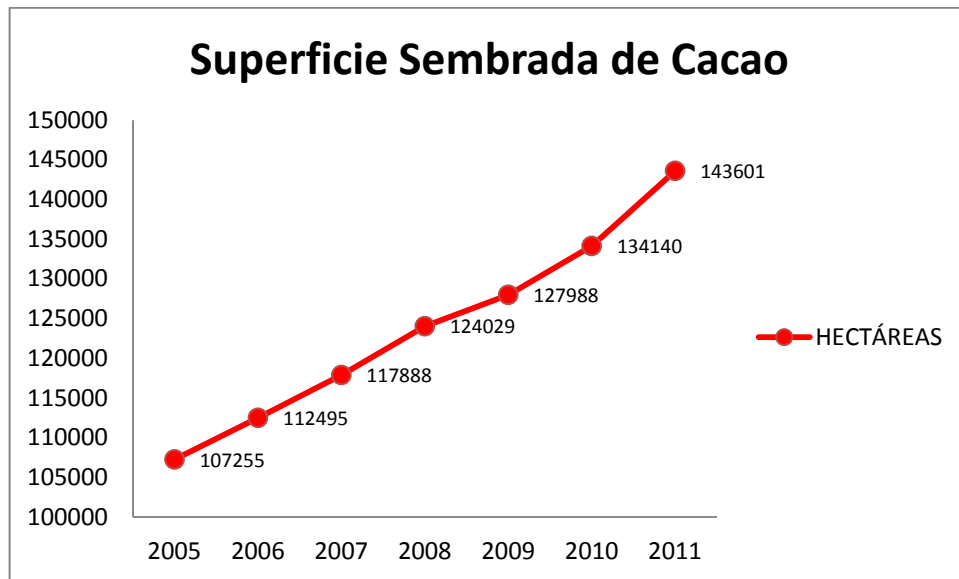


Figura 10. Superficie sembrada de cacao (Cifras en hectáreas)
Fuente: Elaboración propia a partir de: El Espectador, "Colombia quiere cacao", 11/09/2011.

2.3 IMPORTANCIA ECONÓMICA Y SOCIAL

Según la Fundación Mundial del Cacao, el número de cultivadores de cacao alrededor del mundo está entre cinco y seis millones de personas y cerca de 40 a 50 millones de personas depende del cacao para su subsistencia. A la vez en el año 2008, la Organización Mundial del Cacao incluyó a Colombia dentro de la lista de los 15 países productores de cacao que son reconocidos a nivel mundial por la exportación exclusiva o parcial de cacao fino o de aroma. Colombia registra que el 100% del cacao exportado tiene dicha característica, al igual que sucede con Costa Rica, Jamaica, Madagascar, Perú, Trinidad y Tobago, entre otros. Por su parte, Ecuador y Venezuela, al 2008, tenían un 75% del cacao exportado bajo dicha característica.(Fedecacao, 2009).

Según Posada, M & Correal, A. 200, el cultivo de cacao se enmarca en un sistema agroforestal, se cultiva conjuntamente con otras especies vegetales, principalmente café, plátano, frutales y maderables, los cuales al mismo tiempo que le producen sombra al cacao, le permiten al agricultor tener otras alternativas

de ingresos. Los sistemas de este tipo se caracterizan por conservar el suelo y el ambiente, en la medida en que son grandes generadores de biomasa², con capacidad de capturar CO₂ y eficientes liberadores de oxígeno.

Adicionalmente, del marco económico y ambiental, el cacao tiene significativos beneficios para la salud. Puesto que el cacao, el chocolate y los productos de chocolate, además de su agradable sabor, tienen un alto valor nutritivo y contiene sustancias estimulantes del sistema nervioso central y beneficiosas para el corazón.

De esta forma, el cacao es una fuente importante de minerales como el hierro, magnesio, zinc y fósforo. Contiene hidratos de carbono y grasas constituyéndolo en una fuente importante de energía. Contiene estimulantes de la actividad cerebral como la teobromina, cafeína, feniletilamina, anandamida, las cuales mejoran la concentración y la memoria, y hacen que las personas experimenten menos fatiga y se sientan relajadas.

De otro lado, estudios recientes de diversas universidades (Universidad de Barcelona (España), Universidad de Melbourne (Australia), Universidad de California – Davis y Universidad de Harvard (Estados Unidos), señalan que contiene sustancias (fenoles) que actúan como antioxidantes en los vasos sanguíneos, ayudando a prevenir la formación de coágulos en las arterias (arteriosclerosis) y reduciendo el riesgo de sufrir accidentes cardiovasculares. (Posada, M & Correal, A. 2001).

En este sentido, el cacao y sus productos derivados poseen cualidades beneficiosas tanto para la economía, como el medio ambiente, la salud y la generación de empleo.

² La descomposición de materiales vegetales, tales como ramas, tallos, hojas, raíces, entre otros, genera un abono natural y una capa protectora del suelo.

2.4 ESTRUCTURA DE LA CADENA³

El cacao en grano es la materia prima para las grandes y pequeñas empresas productoras de chocolates, industrias confitera, de cosméticos y farmacéuticos.

La Cadena de cacao abarca la producción del grano, procesamiento del mismo y producción de chocolates y confites. Según la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) el 90% de cacao es absorbido por las compañías procesadoras a través de centros de acopios o agentes autorizados para la compra del grano y el resto se destina a intermediarios, que lo distribuyen a las pequeñas empresas o a la exportación en volúmenes marginales.

La cadena agroindustrial del cacao, se encuentra estructurada por siete (6) agentes, cuyas interrelaciones permiten alcanzar un mejor desempeño y aumentar la competitividad, a través de la cual interactúan diferentes actores (ver Figura 11).

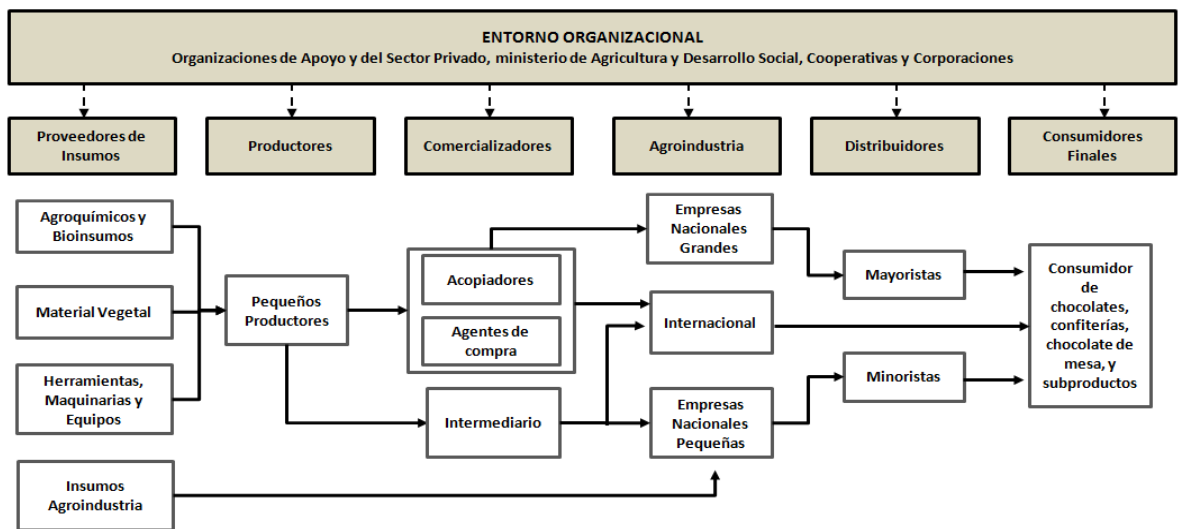


Figura 11. Estructura de la cadena agroindustrial del Cacao.
Fuente: Elaboración propia a partir de: Castellanos et al. (2011).

³ Castellanos, O. et al (2011). Balance Tecnológico de la Cadena Productiva y Agroindustrial del Cacao en el departamento de Bolívar.

Una descripción de los agentes de la cadena agroindustrial del cacao, se muestra a continuación:

- **Proveedores de Insumos:** integra las actividades de quienes comercializan insumos y materias primas necesarias para el cultivo del cacao y para los procesos de transformación propios de la agroindustria. Estos se clasifican en dos grandes grupos: los proveedores de insumos para el cultivo, donde se encuentran aquellos comercializadores de material vegetal, agroquímicos y pesticidas, y los proveedores de herramientas y equipo para el cultivo del cacao en las fincas; y por otro lado se encuentran aquellos proveedores de insumos y materias primas para la agroindustria dedicada a la transformación. De acuerdo con lo anterior, en el esquema de la cadena productiva de Cacao-chocolate definido, se establecieron para el análisis del eslabón de los proveedores de insumos cuatro segmentos: agroquímicos y bioinsumos, material vegetal, herramientas, maquinaria y equipo e insumos para agroindustria.
- **Productores:** agrupa a las fincas ubicadas en las regiones productoras de cacao, donde además coexisten proyectos empresariales destinados al mejoramiento de los niveles de producción y estructuras de beneficio propias.
- **Comercializadores:** hace referencia a los actores ubicados en las cabeceras de los municipios productores, quienes realizan el acopio del grano y son el puente entre el cultivador y la industria. Esta actividad es de vital importancia dentro de la cadena productiva, ya que los comercializadores son los encargados de acercar la producción del agricultor a la industria transformadora.
- **Agroindustria de transformación del cacao:** integra las actividades dirigidas fundamentalmente al procesamiento de productos para la industria alimenticia de chocolate. La confitería es el primer subproducto que más genera valor agregado dentro de la cadena y el segundo en producción, después del chocolate de mesa; sin embargo, al no ser un producto de consumo masivo,

los factores que inciden en el valor agregado de este producto son el empaque, la marca y la publicidad; en otras palabras el producto crece en precio pero no necesariamente en volumen, esto también ocurre con la cobertura de chocolate (Roa, tomado de Agrocadenas, 2005).

- **Mayoristas y Minoristas:** eslabón constituido por los encargados de la venta y distribución de grandes y pequeñas cantidades o al detal. En la cadena productiva de cacao-chocolate se distinguen dos eslabones en lo que respecta a la comercialización de los productos y subproductos de cacao: el eslabón de comercialización mayorista y el eslabón de comercialización minorista. El eslabón de comercialización mayorista tiene un solo segmento que corresponde a los canales propios de la agroindustria, encargados directos de la distribución de grandes volúmenes de los productos elaborados por la industria. El eslabón de comercialización minorista tiene dos segmentos, denominados detallistas y grandes superficies, encargados de la distribución de pequeños volúmenes de los productos elaborados por la industria.
- **Consumidor Final:** integra a los consumidores de los productos de la cadena. Para la identificación de los segmentos de eslabón consumidor final, se tomaron como referencia los distintos tipos de productos obtenidos en la cadena, haciéndose énfasis en los productos más representativos de la cadena: chocolate de mesa, confitería de chocolate y subproductos destinados a otros procesos de transformación.
- **Otros actores que acompañan a los anteriores son:** las instituciones del sector agrícola, gremios y el gobierno, tales como, Fedecacao, Corpoica, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Comercio, la Andi y el Sena, entre otros.

CAPITULO 3

MODELO DE PLANIFICACIÓN COLABORATIVA CADENA DE SUMINISTRO AGROINDUSTRIAL DEL CACAO

3.1 MODELO CONCEPTUAL DE LA AGROINDUSTRIA DEL CACAO

Los modelos conceptuales han resultado ser una técnica que, desde un punto de vista de la transmisión de una idea o representación de ésta, facilita la elaboración de una estructura coherente para apoyar la visualización y el entendimiento de un proceso dado. “Un modelo conceptual es una herramienta descriptiva que destaca los aspectos y variables relevantes de un problema específico, y/o una estructura empírica que propone guías para tratar con los problemas de un dominio de modelado” (Giannoccaro & Pontrandolfo, 2001). Alarcón et al, (2007) lo plantea como la utilización de conceptos o ideas, que utiliza, en la medida de lo posible, la generalidad para describir las partes o los elementos de la realidad que se pretende modelar.

Al momento del diseño de un modelo conceptual, el modelador debe garantizar la representación formal de los fenómenos, procurando conservar, lo más fiel posible, la semántica de lo realmente expresado en la lista y descripción de las entidades relacionadas y sus asociaciones, para traducirlas en forma no redundante. Esquemáticamente, el proceso de conceptualización de un fenómeno del mundo real, conlleva a elaborar varias colecciones de esquemas de relaciones que deben traducirse de la manera más sintética, en la representación de la

coordinación interfuncional y la coordinación interorganizacional de la realidad (Murillo, F. 1996). Bajo el contexto de cadena de suministro, Vidal, C. & Goetschalckx, M. (1997) establecen que en el diseño de un modelo de cadena de suministro, resulta estrictamente necesario representar de manera agregada, tanto a los proveedores, fabricantes y clientes en sus etapas respectivas, para facilitar su representación, entendimiento y análisis posterior.

En esta parte del capítulo se representa, mediante una estructura de modelo conceptual, la semántica de lo real que se quiere tomar en cuenta en la planificación colaborativa para la cadena de suministro agroindustrial del cacao. Esto es:

- *Arquitectura técnica para el modelado de la cadena de suministro agroindustrial del cacao*, el cual pretende expresar de manera formal, los requerimientos mínimos que debe satisfacer la arquitectura de la cadena de suministro, dado los objetivos estratégicos y su relación con las tecnologías de información, para la toma de decisiones.
- *Modelo conceptual de planificación colaborativa para la cadena de suministro*, que representa el documento conceptual, que describe las principales características y funcionalidades de la arquitectura técnica para el modelado de la cadena de suministro agroindustrial del cacao. El framework de desarrollo y operaciones planteado, se constituye en el marco metodológico propuesto para el establecimiento de las relaciones de colaboración, entre los actores de la cadena, con miras a la obtención de una mayor productividad y competitividad del sector, con la consideración de mejores prácticas a las soluciones de los problemas.

3.1.1 Arquitectura técnica para el modelado de la cadena de suministro agroindustrial del cacao

La arquitectura técnica para el modelado de la cadena, define una visión de la

misma con procesos que descomponen las estrategias de los negocios, las capacidades, los recursos, activos y procesos requeridos para ejecutarlos, así como su impacto sobre las funciones de cada uno de los actores que la conforman. Analiza las necesidades de las compañías, sus oportunidades, metas, objetivos y estrategias, para alinearlos al establecimiento de una apuesta común. La arquitectura es desarrollada para asegurar el alineamiento de las organizaciones, a través de los requerimientos de tipo informacional, funcional y operacional, los cuales incluyen lo que cada organización necesita para conocer y ejecutar sus procesos de negocio, cómo la información es compartida y utilizada, y que infraestructura y servicios son necesarios. Según Weill, P. (2007), es muy frecuente que las estrategias utilizadas por las compañías no se comuniquen con claridad a sus stakeholders, y entre ellos, de modo que se facilite el alineamiento entre los procesos de negocio y los sistemas de información para la toma de decisiones.

La esencia de la definición de la estrategia de colaboración, consiste en relacionar a los agentes de la cadena con su entorno, la definición del modelo operativo adecuado para soportarla, en función de la situación del sector, la estructura de relaciones de la cadena, así como el nivel competitivo que se desea (Andreu, R. et al. 1991). En este sentido, analizar el papel de las tecnologías de información y su alineación con los procesos, para adaptarlas a la toma de decisiones, es una de las prioridades para la consolidación de procesos de colaboración. La arquitectura técnica que se propone para la cadena de suministro agroindustrial del cacao, está alineada con los modelos operativo de las organizaciones que la componen, definiendo a su vez la estructura lógica de ejecución de la estrategia que se adopte.

En función del grado de integración y estandarización de los procesos de negocio, Ross, J. (2009) planteo que los modelos de arquitectura empresarial, dependían del tipo de organización involucrada, la estandarización de sus procesos de

negocio y la integración entre los mismos (ver Figura 12). Una alta estandarización de los procesos de negocio y una alta integración de los mismos, permite la integración entre los agentes, llegando a procesos de unificación, que favorecen la implementación de esquemas de colaboración.

Integración Procesos de Negocios	Alto	Coordinación	Unificación
	Bajo	Diversificación	Replicación
		Bajo	Alto
		Estandarización Procesos de Negocios	

Figura 12. Clasificación modelo de arquitectura empresarial

Fuente: Adaptado de Ross, J. (2009)

La arquitectura propuesta recoge los lineamientos anteriormente planteados, y esboza en tres niveles las relaciones entre los agentes de la cadena (*Caracterización de la Cadena de Suministro*), los sistemas de información (*Sistema de Soporte a la Toma de Decisiones*) y el modelado utilizado para soportar las decisiones en función del nivel de colaboración (*Modelado para la Toma de Decisiones*). En este sentido, la arquitectura para la cadena de suministro en cada uno de los dominios (procesos, información y servicios), evolucionara en función de los requerimientos que podrán llegar desde los distintos agentes de la cadena y con diferentes niveles de definición (ver Figura 13). La gestión de la cadena bajo este enfoque, deberá ser capaz de relacionar y racionalizar la interacción entre los agentes, preparándolos para iniciar procesos de planificación precisos, que permitan llegar las soluciones a los actores, con indicadores que permitan medir de modo estándar el rendimiento de los procesos a lo largo de la cadena.

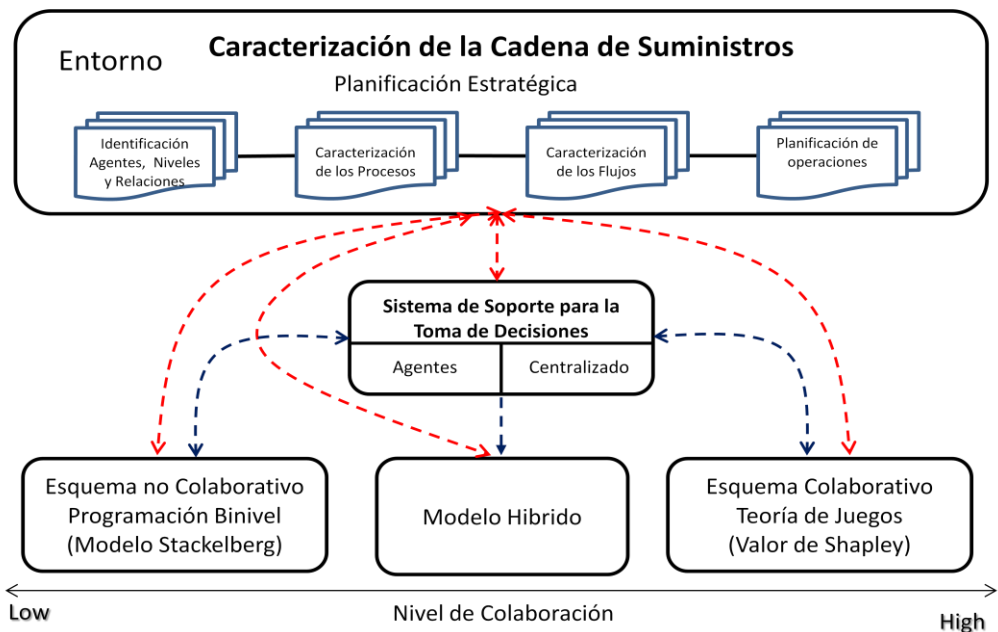


Figura 13. Arquitectura técnica para modelado de la cadena de suministro agroindustrial del cacao.
Fuente: Elaboración propia

En la caracterización de la cadena de suministros, permite la identificación, planeación y definición de las principales características del proceso de planificación colaborativa en la cadena de suministros del cacao, facilitando el entendimiento en las interrelaciones de los agentes. Esta caracterización está soportada por la identificación de los agentes que intervienen en la cadena, los niveles y las relaciones que la conforman, los enfoques estratégicos de dominio local, el intercambio de planes, la negociación y gestión de excepciones, la caracterización los procesos, los flujos que intervienen, la operación y los sistemas de control para la evaluación del sistema.

El segundo nivel está basado en el sistema de información de soporte para la toma de decisiones, el cual está basado en un sistema provisto de programas y herramientas, que permiten obtener oportunamente la información y ayudar a los agentes de la cadena a obtener datos del mercado, planes de operación, contratos y medidas de desempeño, para la toma de decisiones bajo un enfoque de colaboración.

El nivel relacionado con el modelado para la toma de decisiones, está fundamentado en la construcción de modelos matemáticos para el soporte a la toma de decisiones, como son: Modelos de Programación Binivel bajo un esquema no colaborativo, mediante la utilización del Modelo Stackelberg, el cual es desarrollado en el inciso 3.2 del presente capítulo; Modelo de Teoría de Juegos para el enfoque de colaboración, mediante la utilización del Valor de Shapley, el cual es desarrollado en el inciso 3.3 del presente capítulo; y un Modelo Híbrido para el entendimiento de la gestión de la cadena, en donde algunos actores trabajan independiente (Modelo Stackelberg) y otros en esquema de colaboración (Teoría de Juegos – Valor de Shapley). Estos modelos son alimentados por los sistemas de información planteados como soporte para la toma de decisiones.

3.1.2 Modelo conceptual de planificación colaborativa cadena de suministro

Una referencia metodológica para el diseño de los modelos conceptuales en las cadenas de suministros fue propuesta y analizada por Ortiz et al, (1999). En donde el modelo conceptual está representado por tres sistemas que constituyen tres puntos de vista básicos, como son: Sistema Físico, Sistema Decisional y Sistema de Información, y a estas le añade una cuarta que es la Funcional, mediante la cual muestra las principales funciones del sistema de fabricación y los flujos, de cualquier tipo, entre estas funciones.

Cabe anotar que las características y componentes de un modelo conceptual dependerán de su utilidad (Alarcón et al. 2007). De esta forma, un modelo conceptual para el modelado de procesos, debería contener un conjunto de conceptos organizados e interrelacionados que ayudan a construir un modelo concreto de un proceso. También consideran que la caracterización de cualquier proceso de planificación colaborativa, se puede realizar utilizando cinco perspectivas (Física, Organizacional, Decisional, Informacional y Funcional), y

estableciendo la relación existente entre ellas.

Alemaný et al, (2009), basados en la metodología de modelado conceptual propuesto por Ortiz et al, (1999) y Alarcón et al, (2007), consideran que la planificación colaborativa es un proceso de toma de decisiones, ya que la mayoría de las actividades implicadas en ella, son de carácter decisonal. Teniendo en cuenta que decisiones que se toman en la gestión de la cadena, se llevan a cabo según una determinada secuencia, sobre los recursos físicos y humanos involucrados en la generación de productos, los cuales se encuentran organizados de una determinada manera, y que para una adecuada toma de decisiones es necesario disponer en el momento adecuado de la correcta información, es equivalente a la implementación de los enfoques mencionados (Vista Decisonal -> Vista Funcional -> Vista Física -> Vista Organizacional -> Vista Informacional).

Según Alarcón et al, (2007), la vista física/organizacional debe aportar información sobre quién realiza las actividades, cómo se relacionan u organizan aquellos que realizan las actividades, y qué recursos o herramientas emplean. Teniendo en cuenta este planteamiento, la vista física/organizacional utilizada en el diseño del modelo conceptual de la cadena de suministros agroindustrial del cacao, da evidencia de unos proveedores primarios relacionados con el abastecimiento de insumos (Proveedores de Insumos), los cuales tienen relación con los productores o cultivadores de cacao (Productores del Grano) agrupados en pequeños y grandes productores. Estos agentes envían lo que producen a unos centros acopios/acondicionamiento, considerados los agentes de la primera transformación industrial, encargados de recopilar, clasificar y almacenar la producción de los productores de una zona, para luego ser enviadas a los fabricantes del ámbito nacional e internacional de diversos productos, que utilizan el grano de cacao como materia prima de sus procesos, como son las empresas productoras de chocolate, la industria cosmética y la industria farmacéutica. Luego de este agente, aparecen los actores de la red comercial, quienes llevan los

productos generados por la industria a los clientes o consumidores, quienes hacen parte del consumo masivo de los productos derivados del cacao (ver Figura 14).

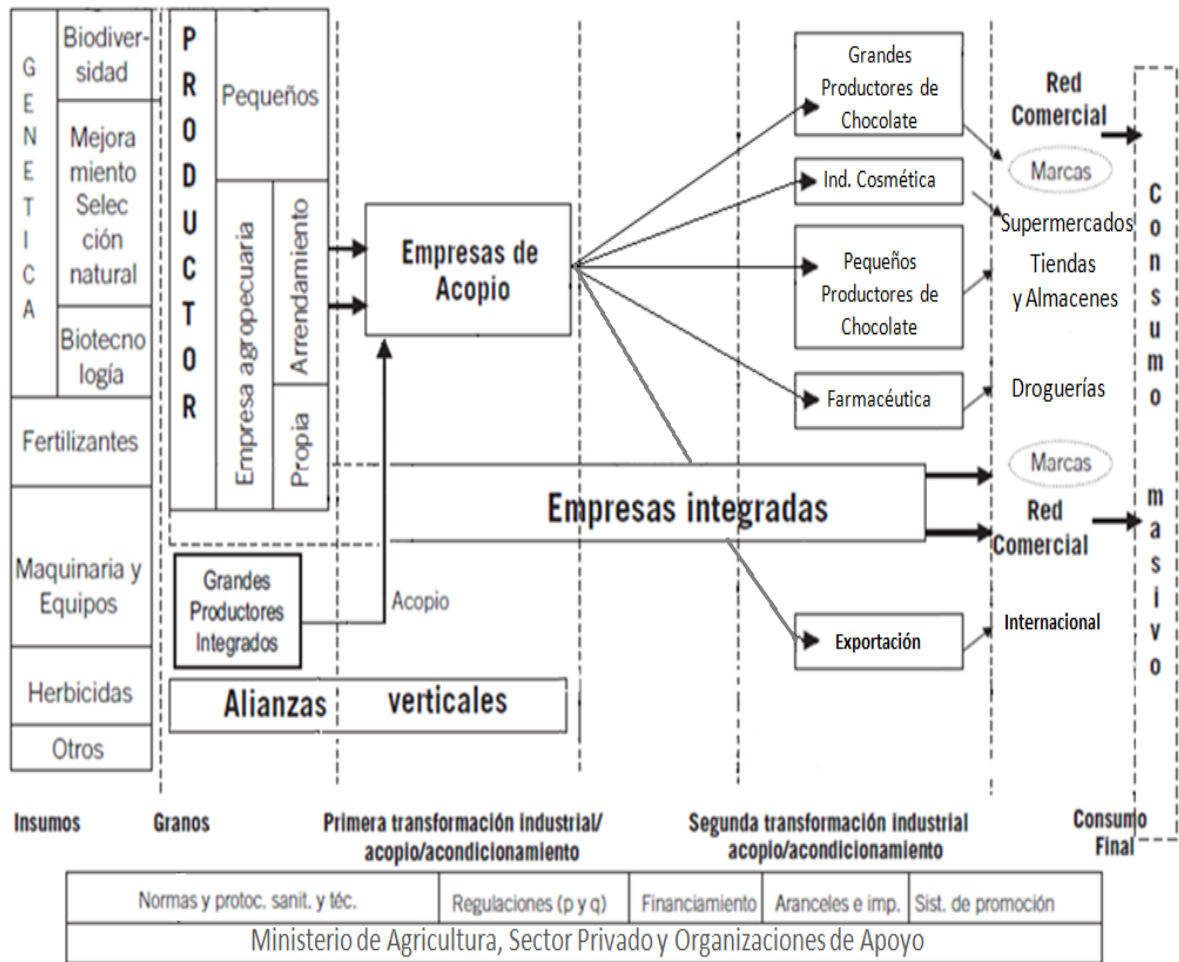


Figura 14. Vista Física/Organizacional para el Diseño del Modelo Conceptual

Fuente: Adaptado de Bisang & Sztulwark 2009.

El modelo propuesto para la vista física/organizacional, se realizó tomando como base la Estructura Genérica de las Cadenas Globales de Valor en Agroalimentos, planteada por Bisang & Sztulwark (2009) en su artículo “Cadenas de Valor en la Agroindustria”. Cabe destacar, que según los referentes nacionales e internacional, en el ejercicio práctico de la cadena agroindustrial del cacao, se pueden presentar alianzas verticales entre los productores y los centros de acopios, e integraciones horizontales a nivel empresarial entre los centros de

acopios y los fabricantes, permitiendo así alcanzar un mejor desempeño y aumento de la competitividad. Es clara la existencia de agentes encargados de la regulación, vigilancia y control de cada uno de los procesos, dentro de los cuales se encuentran el Gobierno, los Gremios y las Instituciones del sector agrícola relacionado.

Para el punto de vista decisional, se tomó como referencia el modelo planteado por Burton (1995), donde el modelo está basado en la negociación jerárquica en la cadena de suministro. Esta hace referencia a las decisiones jerárquicas en grupo, las cuales a menudo son parte importante de mecanismos de coordinación dentro de problemas de planificación, en donde se establecen dos niveles jerárquicos que interactúan: Nivel Superior y Nivel Base. El nivel superior puede tener el derecho de restringir la libertad de ejecución al nivel base; en este proceso de toma de decisiones hay que tener en cuenta el nivel de centralización o descentralización del ambiente en la toma de decisiones, la cantidad de decisores y los niveles jerárquicos de decisión establecidos (ver Figura 15).

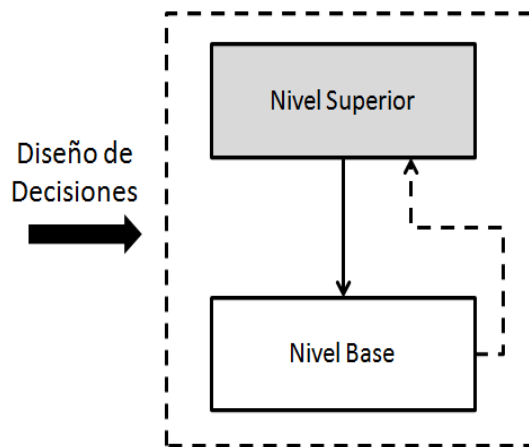


Figura 15. Sistema Jerárquico de decisiones
Fuente: Burton (1995).

Tener un subsistema dentro de una clasificación de Nivel Jerárquico y limitarlo solo a dos niveles, permite identificar al más independiente como el nivel superior

y al más dependiente como nivel básico. Estos dos niveles, juntos con ciertas reglas de interferencia mutua, constituyen una estructura jerárquica que tiene que ser establecida en el diseño inicial de la toma de decisión. De acuerdo a esto, el modelo decisional del proceso de planificación colaborativa para la cadena de suministros, permitió definir el Modelo decisional colaborativo que se muestra en la figura 16.

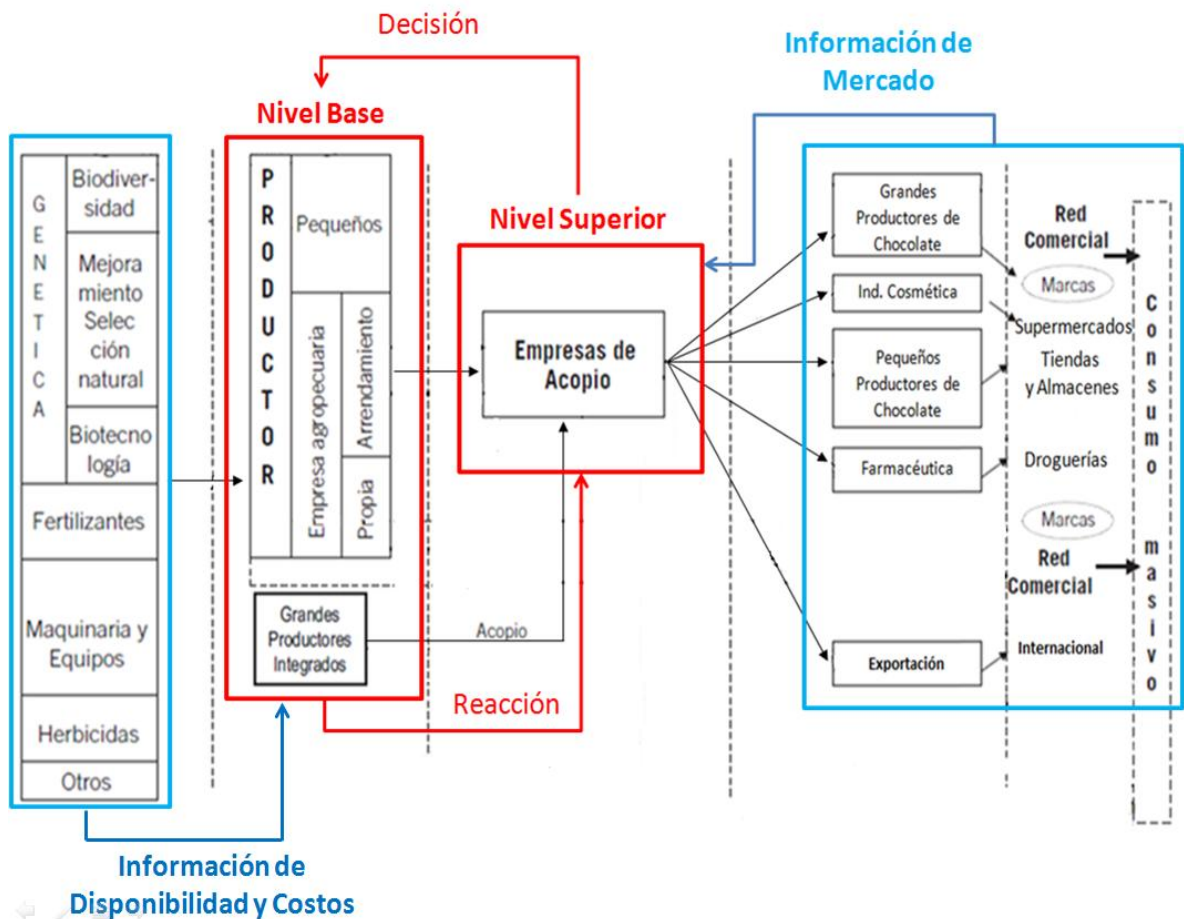


Figura 16. Propuesta de Modelo Decisional en la Planificación Colaborativa
Fuente: Adaptado de Burton (1995).

Teniendo en cuenta una visión decisional, Alarcón et al, (2007) identificó aquellos agentes implicados en la toma de decisiones, para los cuales hay que tener en cuenta una serie de interrogantes a la hora de establecerlo: ¿Cuántos niveles de

decisión existen? ¿Cuántos decisores existen en cada Nivel de decisión? ¿Quién o qué realiza la toma de decisiones en cada nivel de decisión? ¿La toma de decisiones se realiza periódicamente o por eventos? ¿Con base a qué objetivos? y ¿Con base a qué limitaciones?.

En el modelo decisional propuesto, el nivel superior es aquel que se encuentra conformado por los centros de acopios, quienes toman la primera decisión, en función de los requerimientos de demanda suministrados por los fabricantes de los productos derivados del cacao, los precios del mercado y los tiempos o fechas de entrega pactados con ellos. A partir de aquí el nivel base conformado por los productores, toman una reacción ante esta primera decisión; este nivel base necesita de información relacionada con disponibilidad y costos para llevar a cabo su proceso de cultivo y producción, la cual es suministrada por los proveedores de insumos y materias primas.

Dentro de un modelo conceptual, también hay que tener en cuenta la visión informacional de la cadena de suministros. Alarcón et al, (2007), plantea que esta hace referencia a disponibilidad y manejo de la Información dentro de la cadena para dar soporte a la toma de decisiones. Esta vista informacional, debe responder a las siguientes preguntas: ¿qué información se está recogiendo, almacenando, y gestionando? ¿Qué información es necesaria para dar soporte a los procesos? ¿Qué flujos de datos se producen? ¿Qué estados puede tener un elemento de información? y ¿Quién es el encargado de manipular la información?.

En la vista informacional de la cadena de suministros del cacao, la información que se recoge desde los proveedores de insumo hasta los clientes consumidores, pasando por cada uno de los eslabones de la cadena. Los precios de compra, el plan de requerimiento de materiales, los planes de distribución, los planes de producción, los pronósticos de venta y los precios de los productos en el mercado, son algunos de los requerimientos de información que el sistema debe gestionar.

Es importante que la información generada por cada uno de los agentes de la cadena, sea almacenada y compartida hacia los demás, por medio de alguna de las herramientas de soporte a las tecnologías de información y comunicación, del mundo moderno. Una conexión de Intranet e internet, requerida para alimentar una gran base de datos de la cadena, deberá ser administrada por los agentes, de manera conjunta.

Esta propuesta de vista informacional, que hace parte de la construcción metodológica del modelo conceptual, arroja una base de datos de planificación de cada uno de los agentes, como son el plan de requerimientos de materiales (MRP), el plan maestro de producción (MPS) y el plan de requerimiento de distribución de materiales (DRP), los cuales alimentaran el esquema de modelado analítico propuesto, con la Programación Binivel para modelos no colaborativos, el uso del Valor Shapley para los modelos de colaboración y un modelo híbrido dependiente del nivel de colaboración entre los actores.

Para la construcción del modelo conceptual general, se tomaron como referencias los modelos conceptuales y analíticos planteados por Lambert et al. (1998) Beamon et al. (1999), así como también los modelos de planificación colaborativa propuestos por Ortiz et al. (1999) y Alarcón et al. (2007). Cabe anotar que en esta propuesta de modelo conceptual se incorporan los niveles de integración y colaboración entre los diferentes agentes que participan en la cadena, los flujos de materiales e información que se presentan desde los proveedores de insumo hasta los consumidores finales y los procesos de gestión relacionados: gestiones de relación con los clientes, gestiones de relaciones con los proveedores, gestión de los pedidos, gestión de retornos, gestión de fabricación, gestión de demanda, gestión de desarrollo de productos y gestión de servicio al cliente, así como también los sistemas de soporte para la toma de decisiones.

Teniendo en cuenta que entre los agentes se pueden presentar enfoques de

colaboración, este es posible realizarse de tres formas, como son: colaboración entre los productores de cacao, colaboración entre los productores y los centros de acopio y colaboración entre los centros de acopios y los fabricantes. (Ver Figura 17.).

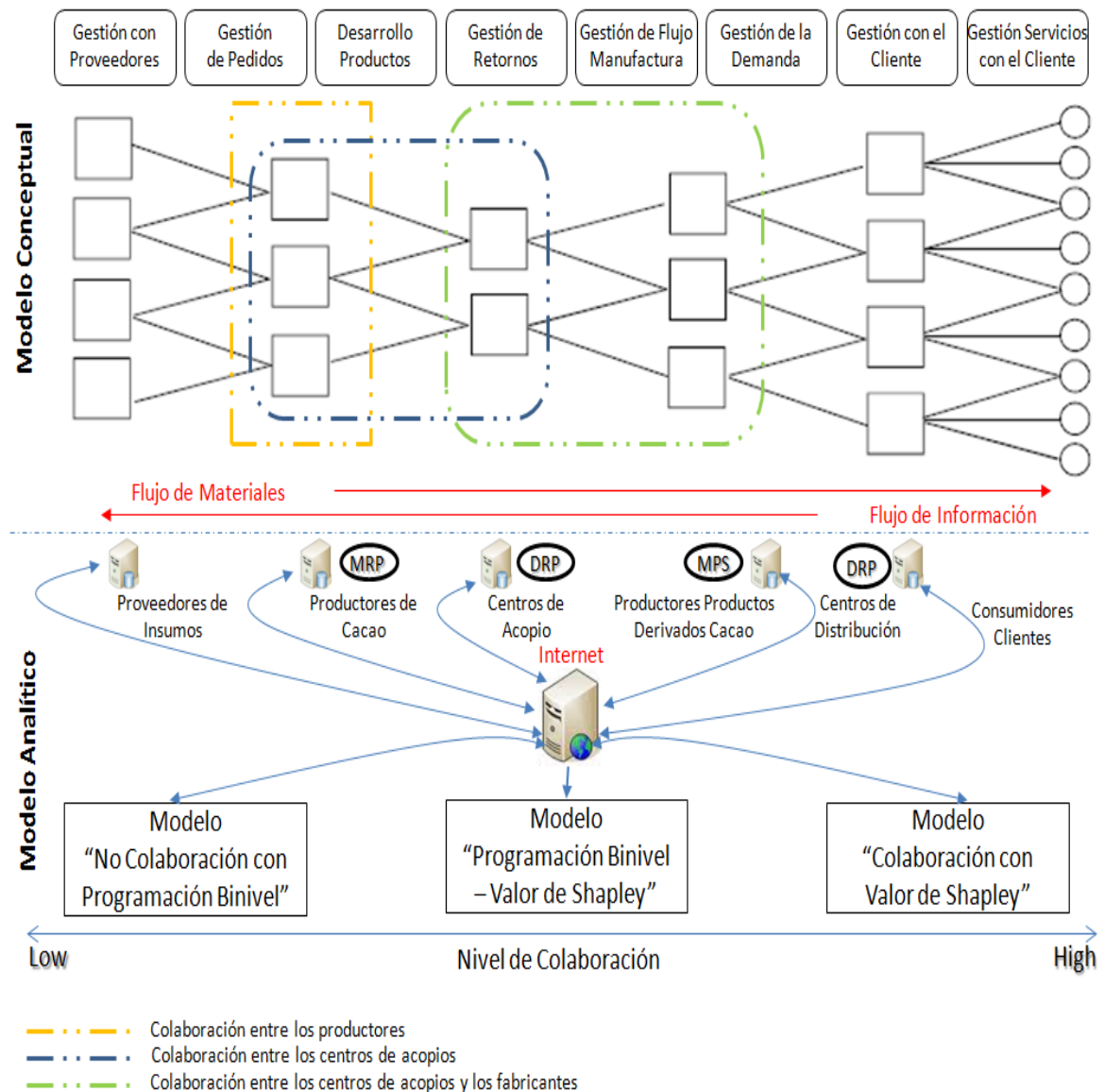


Figura 17. Modelo Conceptual de la planificación colaborativa en la cadena de suministro agroindustrial del cacao.

Fuente: Elaboración propia a partir de Lambert et al, (1998), Beamon et al. (1999), Ortiz et al. (1999) y Alarcón et al. (2007)

3.2 MODELADO DE PLANIFICACIÓN COLABORATIVA BAJO UN ENFOQUE DE PROGRAMACIÓN BINIVEL

Para el desarrollo del Diseño del Modelo Económico de Programación Binivel, se hizo necesario una etapa preliminar o fase exploratoria, para entender el contexto que enmarca el problema planteado y la caracterización de la cadena agroindustrial del cacao. También se exploraron modelos de Programación Binivel para el análisis de cadenas de suministro, desarrollados por otros investigadores, los cuales sirvieron como modelos de referencia.

En la literatura de problemas relacionados con la planificación de las cadenas de suministros bajo el enfoque de Programación Binivel, se tiene el modelo planteado por Ryu, J. et al (2004), quienes trabajaron las relaciones entre productores y distribuidores, planteando dos modelos de programación lineal: el primero para la planificación de la producción y distribución en un escenario determinístico, y el segundo también para la planificación de la producción y distribución, pero en un escenario con incertidumbre. Estos modelos consideraron la demanda de productos, la disponibilidad de recursos y capacidades, inventario en el distribuidor, transporte desde el productor hasta el distribuidor y del distribuidor al mercado, para la minimización de los costos.

Para un mayor entendimiento, a continuación se presentan los dos modelos de Programación Binivel, propuestos Ryu, J. et al.:

- Modelo de Programación Binivel Escenario Determinístico:

Parámetros

h_{wri} Costo de almacenar el producto i en el almacén w para el mercado r

tr_{wri} Costo de transportar el producto i desde el almacén w a mercado r

- M_{ri} Demanda del producto i en el mercado r
 a_{li} Costo de producir el producto i en la planta l
 b_{lwi} Costo de transportar el producto i desde la planta l al almacén w

Variables

- Z_{PC} Función objetivo por parte del productor
 Z_{DC} Función objetivo por parte del distribuidor
 Y_{lwi} Cantidad del producto i en la planta l para el almacén w
 X_{wri} Inventario del producto i en el almacén w para el mercado r

Modelo

$$\min_{X_{wri}} Z_{DC} = \sum_{w=1}^W \sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^I h_{wri} * X_{wri} + \sum_{w=1}^W \sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^I tr_{wri} * X_{wri}$$

$$s. a. \sum_{w=1}^W X_{wri} \geq M_{ri} \quad \forall r, i$$

$$\sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^I Y_{lwi} * X_{wri} \leq R_w \quad \forall w$$

$$\min_{Y_{lwi}} Z_{PC} = \sum_{l=1}^L \sum_{w=1}^W \sum_{i=1}^I a_{li} * Y_{lwi} + \sum_{l=1}^L \sum_{w=1}^W \sum_{i=1}^I b_{lwi} * Y_{lwi}$$

$$s. a. \sum_{l=1}^L Y_{lwi} \geq \sum_{r=1}^R X_{wri} \quad \forall w, i$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{w=1}^W \beta_{li} * Y_{lwi} \leq P_l \quad \forall l$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{w=1}^W \sum_{i=1}^I a_{li} * Y_{lwi} \leq Q$$

$$X_{wri} \geq 0 \quad \forall w, r, i$$

$$Y_{lwi} \geq 0 \quad \forall l, w, i$$

- Modelo de Programación Binivel Escenario con Incertidumbre:

Parámetros

θ Vector de parámetros inciertos

$b_1, b_2, c_1, c_2, d_1, d_2, A_1, A_2, B_1, B_2, K_1, K_2$ son vectores y matrices de valores constantes de dimensiones apropiadas

X^L y X^U , son los límites inferior y superior para los valores que pueden tomar las variables de decisión contenidas en X

Y^L y Y^U , son los límites inferior y superior para los valores que pueden tomar las variables de decisión contenidas en Y

θ^L y θ^U , son los límites inferior y superior para los valores que pueden tomar el vector de parámetros inciertos

Nota: superíndice T denota la transpuesta

Variables

X y Y Vectores de las variables de decisión

Z_{PC} Función objetivo por parte del productor

Z_{DC} Función objetivo por parte del distribuidor

Modelo

A partir de esta notación del modelo de cadena de suministro con problemas de incertidumbre puede reformularse en una programación general de dos niveles, de la siguiente manera:

$$\min_x Z_{DC}(X, Y) = c_1^T X + d_1^T Y$$

$$\begin{aligned}
s.a: & A_1X + B_1Y \leq b_1 + K_1\theta \\
\min_y Z_{PC}(X, Y) &= c_2^T X + d_2^T Y \\
s.a: & A_2X + B_2Y \leq b_2 + K_2\theta \\
& X^L \leq X \leq X^U \\
& Y^L \leq Y \leq Y^U \\
& \theta^L \leq \theta \leq \theta^U
\end{aligned}$$

De igual forma Luka, Z. et al (2008), formularon un modelo de Programación Binivel para una cadena de suministros, teniendo en cuenta el hecho de que el tomador de decisiones del nivel superior (líder), tiene que organizar la producción minimizando los costos para satisfacer la demanda. Una vez que el decisor del nivel superior ha tomado su decisión, el tomador de decisiones en el nivel inferior (seguidor), tiene que organizar el transporte de los productos a los clientes a fin de lograr costos mínimos de transporte. Este modelo fue validado con datos tomados en la industria del petróleo.

Otros de los investigadores que trabajaron con Programación Binivel, fueron Kok, T. & Muratore, G. (2009), los cuales representaron una cadena de suministros compuesta por entidades públicas por separado, en donde cada uno trata de maximizar sus propios beneficios, poniendo en evidencia la falta de colaboración para abastecer el mercado.

Consecuentemente Gutiérrez, E. et al (2010), buscaron la integración de decisiones de producción y distribución, elaboraron un modelo determinístico de Programación Lineal para la planeación táctica operativa de la cadena de abastecimiento de la industria siderúrgica semi-integrada de Colombia, con el fin de minimizar los costos logísticos de producción y distribución de productos intermedios y finales de la industria. Con el modelo se determina la cantidad de productos a transportar entre los agentes, definiendo cuanto

producir y almacenar en cada uno de los eslabones de producción y cuanto pedir a cada una de las zonas proveedoras.

En el 2010, Calvete, H. et al, propusieron un modelo de Programación Binivel Multiobjetivo, para la planificación de una cadena de suministros productor – distribuidor, en donde una empresa principal actúa como nivel superior del proceso de decisión, controlando los centros de distribución para minimizar los costos de transporte, desde los proveedores hasta los almacenes y de éstos a los distribuidores minoristas. En el nivel inferior, actúa la planta de fabricación, al recibir la orden del centro de distribución, buscando reducir al mínimo sus costos de funcionamiento.

Más recientemente, Yang, J. (2012), formulo un modelo de Programación Binivel en una cadena de suministros, para resolver el problema de distribución, de tal forma poder reducir al mínimo los costos de la logística en empresas aguas arriba y aguas abajo en una la cadena de suministro de dos niveles.

3.2.1 Metodología de modelado programación binivel

Para el desarrollo del diseño del Modelo Económico de Programación Binivel, se hace necesario, primero que todo, explorar y conocer los diferentes tipos y estructuras de modelos referente a la Programación Binivel. Como segundo paso definir el juego de duopolio de Stackelberg, declarando en esta etapa los niveles y los diferentes conjuntos que se forman en la cadena; aquí también se define el actor de la cadena que hará las veces del nivel superior y quien se le denominara “Líder” y el actor del nivel base a quien se le denominará “Seguidor”. Luego se definen las variables y los parámetros a considerar para ambos niveles, teniendo en cuenta la manera cómo estas influyen en cada uno de los agentes. Luego se define la función objetivo a optimizar y las restricciones pada cada uno, teniendo en cuenta sus intereses individuales. De lo anterior, se construye

matemáticamente el modelo Económico de Programación Binivel. Después se determina el nivel de complejidad del modelo construido, y dependiendo de este se determina el método a utilizar para su solución, esta última es una fase analítica que busca encontrarle solución al modelo, utilizando las herramientas computacionales disponibles a través de lenguajes de modelado y programación (ver Figura 18).

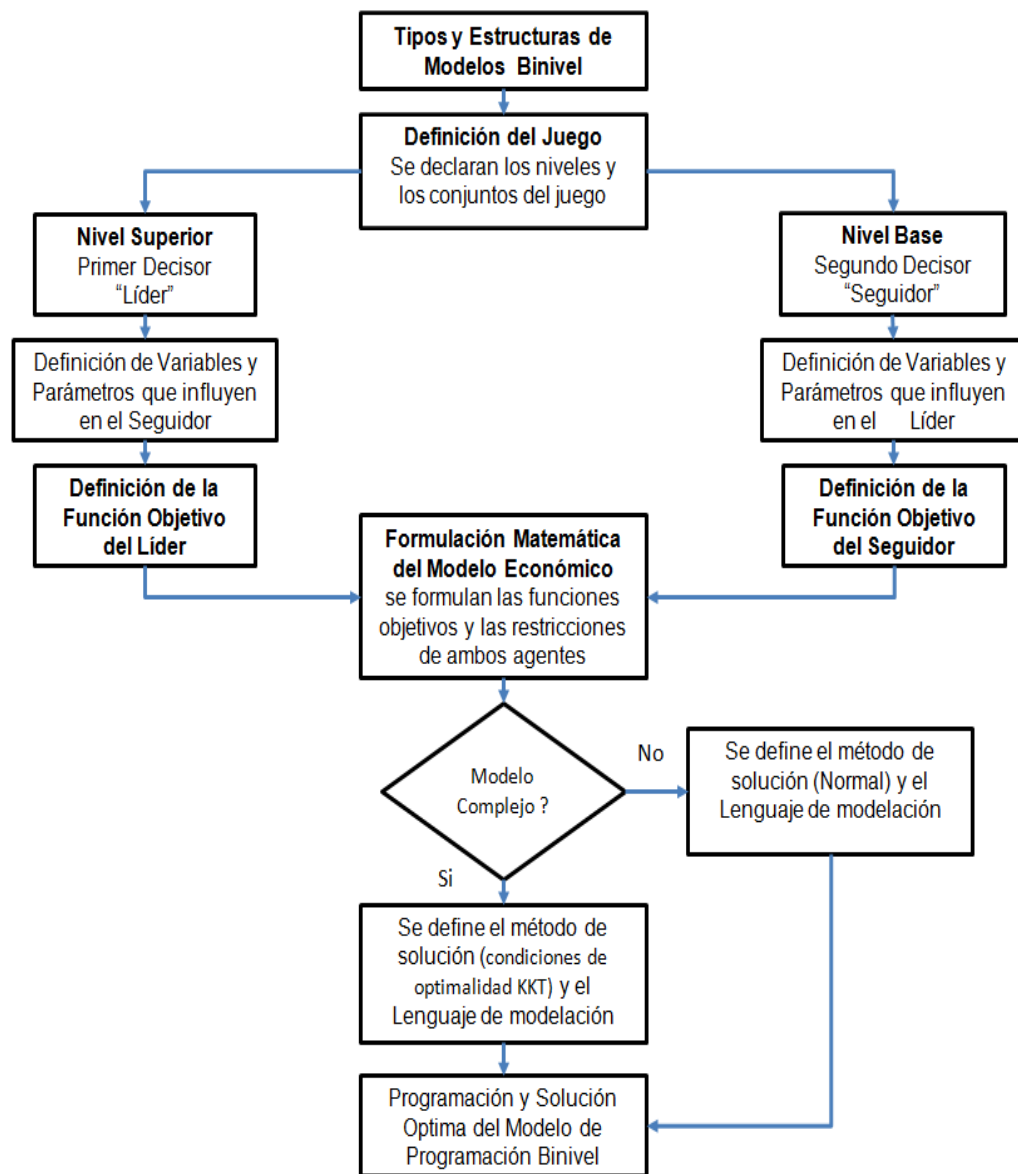


Figura 18. Metodología de Programación Binivel
Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Modelo económico de programación binivel

Para la construcción del modelo económico de Programación Binivel para el problema objeto de estudio, se tomaran como base las diferentes estructuras desarrolladas por los investigadores referenciados en el inciso anterior en el enfoque determinístico, adaptándolos a los requerimientos específicos para el modelado de las cadenas agroindustriales del cacao, en términos de las variables, parámetros, restricciones y funciones objetivos a considerar.

Con respecto a la definición del juego de duopolio de Stackelberg, se establece que el "Lider" es representado por los centros de acopios y los seguidores por los productores (ver Figura 19). Por las características propias de las cadenas agroindustriales del cacao, se declaran como conjuntos:

- i Productores del grano ($i = 1, 2, \dots, n$)
- j Centros de acopios ($j = 1, 2, \dots, m$)
- k Productos ($k = 1, 2, \dots, r$)
- l Mercados (productores de productos derivados del cacao) ($l = 1, 2, \dots, q$)

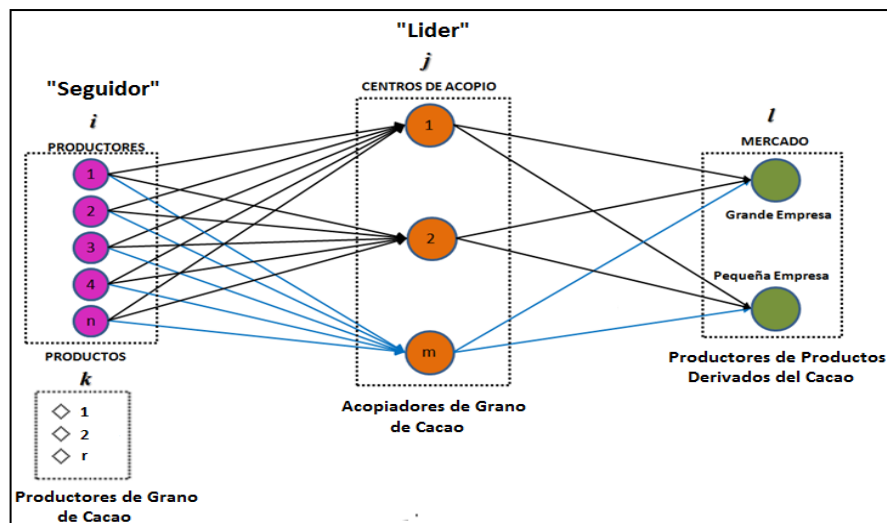


Figura 19. Representación gráfica del modelo Binivel propuesto
Fuente: Autor del proyecto

A continuación, se describen los parámetros y las variables del modelo propuesto, los cuales están ligados con los costos de producción de los productores del grano, los costos de transporte desde los productores hasta los centros de acopio y desde los centros de acopio hasta los mercados, limitaciones de capacidad de producción de los productores del grano, precios de los productos, demanda requerida por los mercados y las cantidades a producción, a transporte y vender. De igual forma se establece que el objetivo de optimización del “Lider” y del “Seguidor”, es la maximización de las utilidades.

Parámetros:

$CQP(i)$	<i>Costo de producir por el productor i</i>
$CQTPCA(i,j)$	<i>Costo de transporte desde el productor i hasta el centro de acopio j</i>
$PCCA(j,k)$	<i>Precio de centro de acopio j para el tipo de producto k</i>
$PQCM(l,k)$	<i>Precio del mercado l para el tipo de producto k</i>
$CQVCAMC(j,l)$	<i>Costo de operación y envío en el centro de acopio j al mercado l</i>
$CAPP(i)$	<i>Capacidad del productor i</i>
$CAPCA(j)$	<i>Capacidad del centro de acopio j</i>
$DEMMER(l,k)$	<i>Demanda del mercado l del tipo de producto k</i>

Variables:

$QP(i)$	<i>Cantidad producida por el productor i</i>
$QTPCA(i,j)$	<i>Cantidad transportada desde el productor i hasta el centro de acopio j</i>
$QRPCCA(i,j,k)$	<i>Cantidad recibida desde el productor i en el centro de acopio j del tipo de producto k</i>

- QVCAMC(j,l,k)** Cantidad vendida por el centro de acopio j al mercado l del tipo de producto k
- Zp** Utilidades totales producto de las ventas y los costos de producción y transporte del agente productor
- Zc** Utilidades totales producto de las ventas y los costos asociados a la compra, operación y envío del agente centro de acopio

La función objetivo para los centros de acopios, está definida como la maximización de sus utilidades. La ecuación [1], muestra la formulación matemática que representa la forma de calcular las utilidades totales producto de las ventas y los costos asociados a la compra, operación y envío del agente centro de acopio.

$$\begin{aligned}
 Z_{c[Max]} = & \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^r PQCM_{lk} * QVCAMC_{jlk} - \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^r CQVCAM_{jl} \\
 & * QVCAMC_{jlk} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r PCCA_{jk} * QRPCCA_{ijk}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Estos centros de acopio están sujetos a las siguientes restricciones:

- Restricción de satisfacción de la demanda del mercado l del tipo de producto k por parte de los centros de acopio j .

$$\sum_{j=1}^m QVCAMC_{jlk} \leq DEMMER_{lk} \quad \forall l, k \tag{2}$$

- Restricción de capacidad de los centros de acopio j

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r QRPCCA_{ijk} \leq CAPCA_j \quad \forall j \quad [3]$$

- Restricción de control de cantidades recibidas en el centro de acopio por parte del productor y enviadas al mercado.

$$\sum_{i=1}^n QRPCCA_{ijk} = \sum_{l=1}^q QVCAMC_{jlk} \quad \forall j, k \quad [4]$$

- Restricción de seguridad de no pérdidas.

$$\sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^r PQCM_{lk} * QVCAMC_{jlk} - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r PCCA_{jk} * QRPCCA_{ijk} \geq 0 \quad \forall j \quad [5]$$

Representa la diferencia de los ingresos percibidos por los centros acopios j y los costos asociados a la compra que hacen a los productores del grano. Esta restricción representa un esquema de colaboración del centro de acopio hacia los productores del grano. La idea es que en condiciones de negociación en el precio con los productores de productos derivados del grano, los productores del grano no salgan perdiendo, dado que todo lo que producen los productores del grano es completamente absorbido por los centros de acopio.

- Restricción de no negatividad de las variables

$$\begin{aligned} QVCAMC_{jlk} &\geq 0 && \forall j, l, k \\ QRPCCA_{ijk} &\geq 0 && \forall i, j, k \end{aligned} \quad [6]$$

La función objetivo de los productores del grano consiste en maximizar sus utilidades. La ecuación [7], muestra la formulación matemática que representa la

forma de calcular las utilidades totales producto de las ventas y los costos asociados a la producción y envío del productor del grano.

$$Z_{P[Max]} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r PCCA_{jk} * QRPCCA_{ijk} - \sum_{i=1}^n CQP_i * QP_i - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m CQTPCA_{ij} * QTPCA_{ij} \quad [7]$$

Estos productores del grano están sujetos a las siguientes restricciones:

- Restricción de capacidad del productor del grano i

$$QP_i \leq CAPP_i \quad \forall i \quad [8]$$

- Restricción de balance de las cantidades producidas y enviados por el productor del grano i

$$QP_i = \sum_{j=1}^m QTPCA_{ij} \quad \forall i \quad [9]$$

- Restricción de control de cantidades enviadas por el productor del grano i y recibidas por el centro de acopio j

$$QTPCA_{ij} = \sum_{k=1}^r QRPCCA_{ijk} \quad \forall i, j \quad [10]$$

- Restricción de no negatividad de las variables

$$\begin{aligned}
QP_i &\geq 0 && \forall i \\
QTPCA_{ij} &\geq 0 && \forall i, j \\
QRPCCA_{ijk} &\geq 0 && \forall i, j, k
\end{aligned} \quad [11]$$

La formulación integral del Modelo Económico de Programación Binivel, quedaría expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
\max_{QVCAMC} Z_{ca} = & \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^r PQCM_{lk} * QVCAMC_{jlk} - \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^r CQVCAM_{jl} \\
& * QVCAMC_{jlk} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r PCCA_{jk} * QRPCCA_{ijk}
\end{aligned}$$

s.a.

$$QVCAMC_{jlk} \leq DEMMER_{lk} \quad \forall j, l, k$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r QRPCCA_{ijk} \leq CAPCA_j \quad \forall j$$

$$\sum_{i=1}^n QRPCCA_{ijk} = \sum_{l=1}^q QVCAMC_{jlk} \quad \forall j, k$$

$$\sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^r PQCM_{lk} * QVCAMC_{jlk} - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r PCCA_{jk} * QRPCCA_{ijk} \geq 0 \quad \forall j$$

$$\begin{aligned}
\max_{\substack{QRPCCA \\ QP \\ QTPCA}} Z_{pd} = & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r PCCA_{jk} * QRPCCA_{ijk} - \sum_{i=1}^n CQP_i * QP_i \\
& - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m CQTPCA_{ij} * QTPCA_{ij}
\end{aligned}$$

s.a.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r QRPCCA_{ijk} \leq CAPCA_j \quad \forall j$$

$$\sum_{i=1}^n QRPCCA_{ijk} = \sum_{l=1}^q QVCAMC_{jlk} \quad \forall j, k$$

$$QP_i \leq CAPP_i \quad \forall i$$

$$QP_i = \sum_{j=1}^m QTPCA_{ij} \quad \forall i$$

$$QTPCA_{ij} = \sum_{k=1}^r QRPCCA_{ijk} \quad \forall i, j$$

$$QVCAMC_{jlk} \geq 0 \quad \forall j, l, k$$

$$QRPCCA_{ijk} \geq 0 \quad \forall i, j, k$$

$$QP_i \geq 0 \quad \forall i$$

$$QTPCA_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j$$

3.3 MODELADO DE PLANIFICACIÓN COLABORATIVA BAJO UN ENFOQUE DE VALOR DE SHAPLEY

Son varias las aplicaciones que se han visto en torno a las cadenas de suministro desde el punto de vista de la teoría de juegos cooperativa, teniendo en cuenta el enfoque del Valor de Shapley. Algunos investigadores han utilizado este enfoque en sus trabajos, tal es el caso de Bartholdi, J. & Kemahlioglu-Ziya, E. (2005), quienes consideraron un modelo cooperativo entre dos minoristas, cuyo inventario es proporcionado por un proveedor común que soporta todo el riesgo de inventario; usaron el Valor de Shapley para asignar el beneficio que le corresponde a cada uno de los ellos, encontrando así que las asignaciones de Valor de Shapley es individualmente racional y están garantizadas para coordinar la cadena de suministro, pero que puede ser percibido como injustas, en la medida en que las asignaciones de los minoristas pueden, en algunos casos, ser superior a su contribución a la oferta de lucro en la cadena.

Rosenthal, E. (2008), consideró en su investigación organizaciones integradas

verticalmente, que en general han aumentado algunos ahorros en costos transaccionales y tecnológicos, mediante su integración; construyeron un juego de cadena de suministros cooperativo por el cual el Valor de Shapley ubica a las diferentes divisiones es una función implícita de la transferencia de precios.

Yi, C. (2009), en su trabajo utilizó el algoritmo de Valor Shapley, para la asignación de ingresos entre la coalición en una cadena de suministro, analizando cualidades y deficiencias del método de Valor de Shapley. Para subsanar las deficiencias, propusieron un método modificado teniendo en cuenta el riesgo y el coeficiente de inversión, con el fin de mejorar los ingresos de los agentes que participan en la coalición, asegurando así la persistencia de la alianza y la estabilidad en la cooperación en la cadena de suministro. Igualmente Chen, R. & Yin, S. (2010), utilizaron este algoritmo del Valor de Shapley en una cadena de suministros, pero teniendo en cuenta la asignación de descuento por cantidad y la asignación del costo del mismo, de tal manera que se presente una asignación uniforme entre los agentes.

En otra investigación, Zheng, Y. et al (2011), demostraron que la cadena de suministro cerrada es un sistema complejo con muchos factores de incertidumbre, resaltando que las ganancias de los participantes en el sistema después de la formación de una coalición, son mayores que las ganancias sin cooperación. En el proceso de aplicación del modelo de juego cooperativo de Valor de Shapley, para conseguir un régimen de distribución de rentas para mantener una coalición estable, los investigadores de este trabajo han encontrado que las soluciones clásicas a los juegos cooperativos, sufren una incertidumbre razonable. Al modificar el método de Valor de Shapley para resolver el problema de la asignación de beneficios en la cadena de suministro de ciclo cerrado, los resultados muestran tener una menor incertidumbre para la cadena.

Xu, X., Pan S. & Ballot, E. (2012), presentaron un esquema para compartir de

manera justa y estable los ahorros y ganancia, utilizando la teoría de juegos cooperativo como el mecanismo de cooperación para la aplicación del común acuerdo. A través de su estudio, los resultados muestran que las cadenas de suministro agrupadas puede generar una reducción de los costos de transporte y emisiones de CO₂, y que el aumento de la tasa de impuesto sobre el carbono ofrece a las empresas más incentivos para la aplicación de dicho régimen de coalición.

3.3.1 Metodología de modelado valor de shapley

Para el desarrollo del diseño del Modelo Económico de Valor de Shapley, se hace necesario el cumplimiento de una fase exploratoria, donde se busca la información necesaria para entender el contexto que enmarca la teoría de juegos cooperativo, las teorías de formación de coaliciones existentes en la literatura, y en especial los algoritmos que existen en la actualidad para el cálculo del Valor de Shapley. Esta fase permite determinar si el ambiente que enmarca a los agentes de la cadena de suministro permite la conformación de coaliciones.

Una vez definida la posibilidad de hacer coaliciones entre los agentes, se determinan los parámetros y las variables, de tal forma que se permita formular y solucionar el modelo de los agentes de la cadena que tiene interés de colisionar. Acto seguido, se entra a determinar la función característica del juego y se verifican los cumplimientos de las propiedades definidas por la metodología del Valor de Shapley, para así poder calcular y solucionar el modelo de juego cooperativo adecuado para el problema descrito en la Cadena de Suministro.

En la Figura 20, se puede apreciar detalladamente y en forma algorítmica la metodología utilizada para el diseño del Modelo Económico de Valor de Shapley.

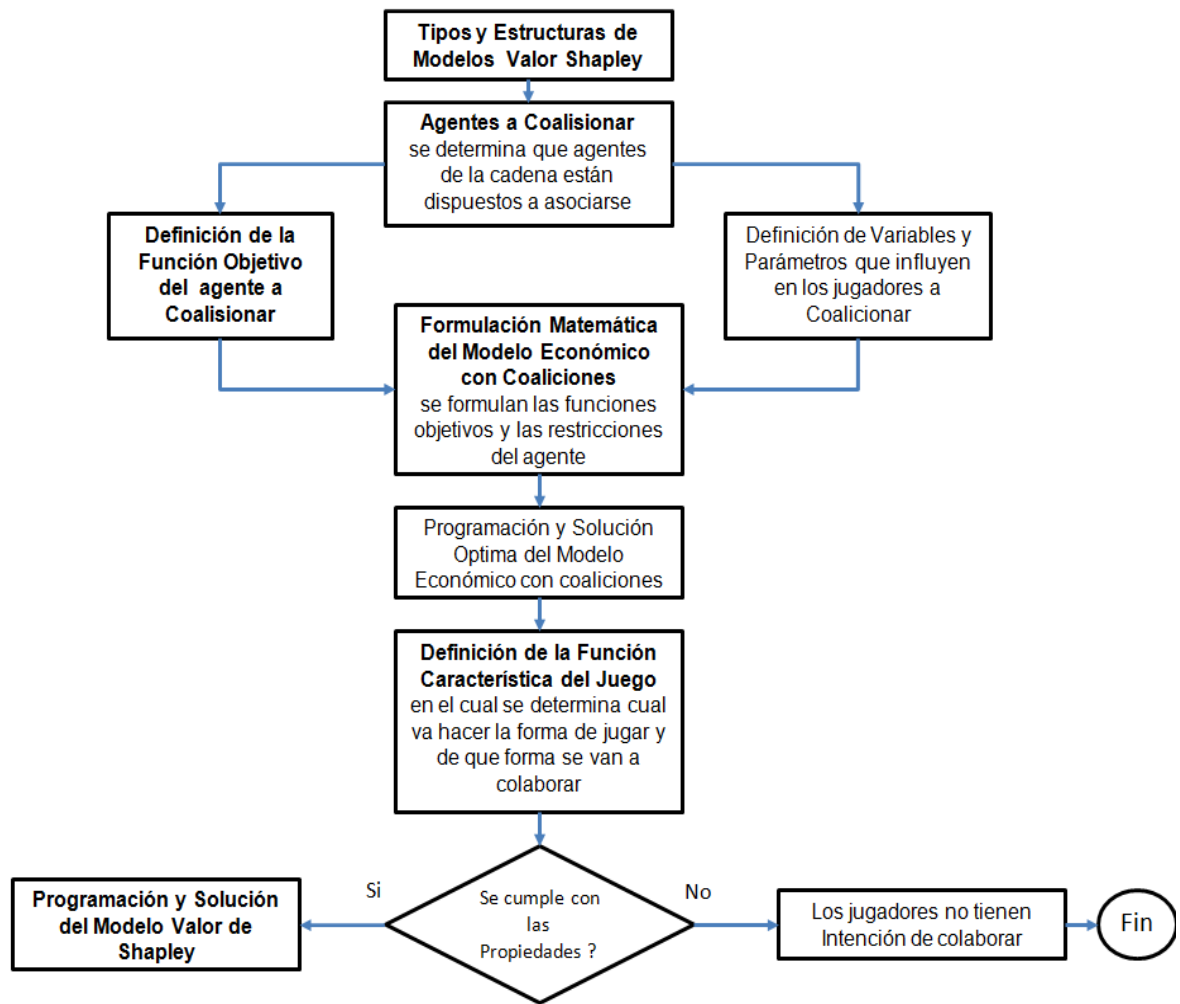


Figura 20. Metodología para el modelo de valor de shapley
Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Modelo económico de valor de shapley

Para la construcción del modelo económico de valor de Shapley, hay que tener en cuenta los esquemas de colaboración detallados en la propuesta de modelo conceptual, en este sentido se plantea esquemas de colaboración entre productores de grano, esquema de colaboración entre centros de acopios y esquemas de colaboración entre productores y centros de acopios.

En este modelo se inicia un juego colaborativo de i -jugadores, siendo “ i ” el número de productores de grano, o centros de acopio, o productores de grano y centros de acopio, que buscan maximizar sus utilidades, satisfaciendo la demanda del mercado. Lo que se pretende en este modelo es buscar el beneficio de los jugadores de manera conjunta, a través de la conformación de coaliciones entre ellos, y así poder generar mayores beneficios. En este sentido, el juego colaborativo va a estar conformado por un conjunto de “ w ” coaliciones, las cuales contienen un número de “ r ” jugadores (siendo r un subconjunto de i), que a su vez pueden hacer o formar “ s ” posibles subcoaliciones. (ver figura 21).

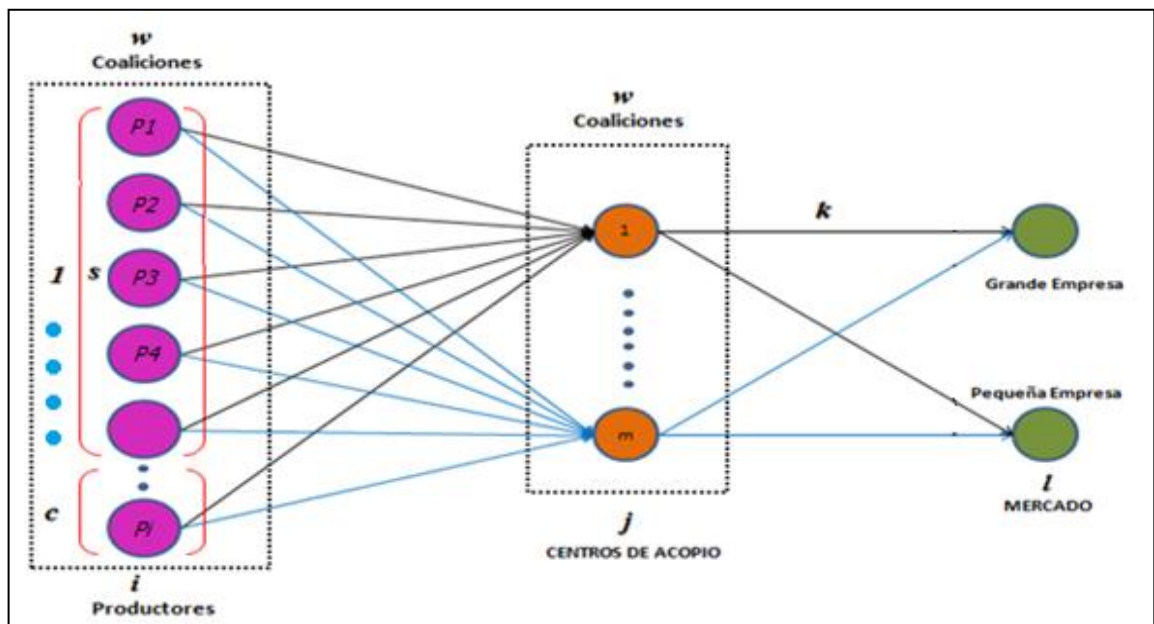


Figura 21. Representación gráfica del modelo de Valor de Shapley propuesto
Fuente: Autor del proyecto

Al momento de poder realizar las posibles coaliciones entre dos o más productores, los costos de producción (CQP_i), los cuales están conformados por los costos de insumos, costos de mano de obra, los costos de herramientas y equipos y los costos por asesorías técnicas, se convierten en unos costos colaborativos (CQP_w) dependiendo de la forma en que vayan a colaborar, de tal manera que maximicen sus utilidades. Quedando el modelo tal como se muestra

en la ecuación de la siguiente forma

$$\begin{aligned}
 Z_{P[Max]} = & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r PCCA_{jk} * QRPCCA_{ijk} - \sum_{w=1}^n CQP_w * QP_i \\
 & - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m QTPCA_{ij} * QTPCA_{ij}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

Sujetos a las siguientes restricciones:

- Restricción de capacidad de cada productor (i)

$$QP_i \leq CAPP_i \quad \forall i \tag{13}$$

- Restricción de control de cantidades producidas por el productor (w)

$$QP_i = \sum_{j=1}^m QTPCA_{ij} \quad \forall i \tag{14}$$

- Restricción de control de cantidades enviadas por el productor (w) y recibidas por el centro de acopio (j).

$$QTPCA_{ij} = \sum_{k=1}^r QRPCCA_{ijk} \quad \forall i, j \tag{15}$$

- Restricción de no negatividad de las variables

$$\begin{aligned}
 QP_i & \geq 0 & \forall i \\
 QTPCA_{ij} & \geq 0 & \forall i, j \\
 QRPCCA_{ijk} & \geq 0 & \forall i, j, k
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Este modelo de colaboración se soporta y está basado en el cálculo del valor de shapley con el fin de que las ganancias sean distribuidas de manera equitativa

entre los agentes que colaboran, este valor se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\phi_i(v) = \sum_{S \in N: i \in S} \frac{(S-1)!(n-S)!}{n!} v(S) - v(S - \{i\})$$

Donde:

Los elementos $N = \{1, 2, \dots, n\}$ se denominan jugadores

Los subconjuntos $S \in 2^n$ coaliciones

El valor de la coalición $v(S)$

El conjunto de imputaciones $i(v)$

De tal manera que la función característica del juego que asigna el valor a cada una de las subcoaliciones está definida por la ecuación [17].

$$v_{(N)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r PCCA_{jk} * QRPCA_{ijk} - \sum_{w=1}^n CQP_w * QP_i - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m CQTPCA_{ij} * QTPCA_{ij} \quad [17]$$

3.4 MODELO DE PLANIFICACIÓN COLABORATIVA BAJO UN ENFOQUE HIBRIDO DE PROGRAMACIÓN BINIVEL Y VALOR DE SHAPLEY

La formulación de este Modelo Híbrido de planificación colaborativa, nace de la unión del modelo económico de programación Binivel junto con el modelo económico de Valor de Shapley, esto quiere decir que se tendrán en cuenta las decisiones tomadas por el líder pero de igual forma los seguidores podrán hacer coaliciones y trabajar bajo un enfoque de colaboración.

El modelo se presenta a continuación:

$$\begin{aligned} Z_{c[Max]} = & \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^r PQCM_{lk} * QVCAMC_{jlk} - \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^r CQVCAM_{jl} \\ & * QVCAMC_{jlk} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r PCCA_{jk} * QRPCCA_{ijk} \end{aligned} \quad [18]$$

$$\begin{aligned} Z_{P[Max]} = & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r PCCA_{jk} * QRPCCA_{ijk} - \sum_{w=1}^n CQP_w * QP_i \\ & - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m CQTPCA_{ij} * QTPCA_{ij} \end{aligned} \quad [19]$$

La ecuación 18, representa la función objetivo del líder en la cadena en este caso los centros de acopios, los cuales busca maximizar sus utilidades, pero sin olvidarse de los seguidores que de igual forma quieren incrementar sus ingresos, en un enfoque de colaboración. (Ver ecuación 19.).

Sujeto a:

$$QVCAMC_{jlk} \leq DEMMER_{lk} \quad \forall j, l, k$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r QRPCCA_{ijk} \leq CAPCA_j \quad \forall j$$

$$\sum_{i=1}^n QRPCCA_{ijk} = \sum_{l=1}^q QVCAMC_{jlk} \quad \forall j, k$$

$$\sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^r PQCM_{lk} * QVCAMC_{jlk} - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r PCCA_{jk} * QRPCCA_{ijk} \geq 0 \quad \forall j$$

$$QP_i \leq CAPP_i \quad \forall i$$

$$QP_i = \sum_{j=1}^m QTPCA_{ij} \quad \forall i$$

$$QTPCA_{ij} = \sum_{k=1}^r QRCCA_{ijk} \quad \forall i, j$$

CAPITULO 4

CASO ESTUDIO: AGROINDUSTRIA DEL CACAO EN BOLÍVAR

En este capítulo se pretende encontrar la solución del modelo matemático de optimización para la planificación de la cadena de suministros, utilizando la metodología de Programación Binivel y Valor de Shapley, donde el objetivo es trabajar primero mediante un sistema no colaborativo donde el líder son los centros de acopios y los seguidores los productores, y un segundo sistema de colaboración, donde los productores que son quienes cultivan y suministran los diferentes tipos de cacao a los centros de acopios y hacen coaliciones para maximizar sus ingresos.

El departamento de Bolívar, esta agrupado por cuatro (4) Zodes⁴, como lo son el del Magdalena Medio, el de los Montes de María, el de la Mojana y el de Loba, para iniciar el proceso de evaluación de los modelos, se tomó la información específica del Zodes Magdalena Medio, debido a que su volumen de área sembrada con un 77,8% en el departamento, se convierte la región referente de cacao en Bolívar. (Ver Tabla 3.). Esta región está conformada por un conjunto de 457 productores, pertenecientes a los corregimientos y veredas de los municipios del sur de Bolívar, como es el caso de Simiti, San Pablo y Santa Rosa del Sur.

⁴ Zodes: Zona de Desarrollo Económico y Social, Organización Geoeconómica del departamento de Bolívar para el desarrollo territorial, definida por la Gobernación de Bolívar.

Tabla 3. Estadísticas de siembra, cosecha y producción del Cacao por Zodes

ZODES	Municipio productores	Área sembrada	Área cosechada (ha)	Producción (ton)
ZODES Magdalena Medio	6	4535 77,8%	2568 88,9%	616,68 75,3%
ZODES Montes de María	3	725 12,4%	35 1,2%	24,5 3,0%
ZODES Mojana	4	482 8,3%	250 8,7%	167,8 20,5%
ZODES Loba	4	85 1,5%	35 1,2%	10,5 1,3%
TOTAL	17	5827	2888	819,48

Fuente: Castellanos et al (2011).

El modelo de la cadena agroindustrial del cacao en Bolívar para el Zodes Magdalena Medio, se representa gráficamente mediante la siguiente forma. (Ver figura 22).

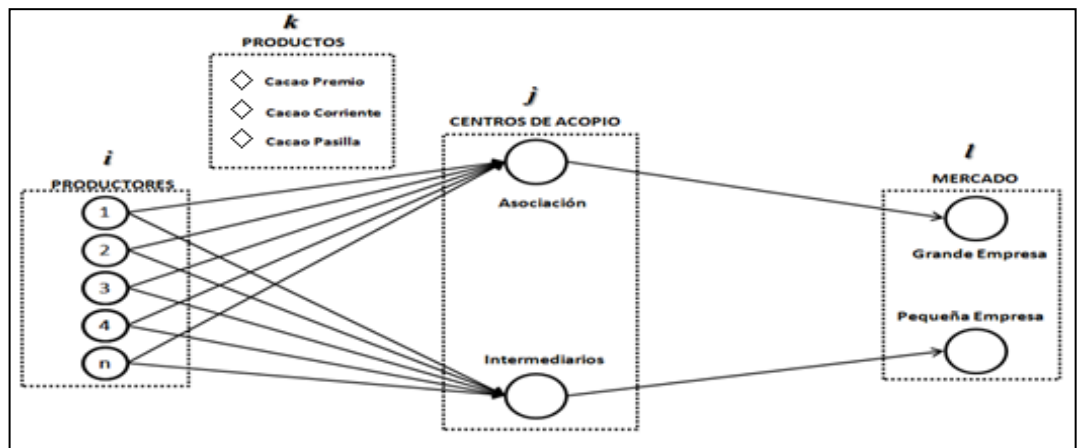


Figura 22. Notación del modelo de planificación de la cadena de Agroindustrial del Cacao

Fuente: Autor del proyecto

Donde se define un juego conformado por un conjunto de productores (*i*), encargados del cultivo y de la producción del cacao en grano, este se encuentra integrado por (*n*) productores, por otro lado están los centros de acopios (*j*), quienes se encargan de recolectar todo el cacao que se produce para poder ser llevado al mercado transformador, este está conformado a su vez por (*m*) acopiadores, que en el caso del departamento de Bolívar solo existe la asociación

o cooperativa y los intermediarios. Entre estos dos agentes productores y centros de acopios se comercializan (k) productos, que están definidos en tres categorías como son cacao premio, cacao corriente y cacao pasilla, los cuales tiene como fin satisfacer un mercado (l), conformado a su vez por las grandes y pequeñas empresas. (Ver Figura 22.).

4.1 SOLUCIÓN DEL MODELO ECONÓMICO DE PROGRAMACIÓN BINIVEL

Es posible definir la programación de dos niveles como "un programa matemático que contiene un problema de optimización en las restricciones". Para la perfecta comprensión, es necesario centrarse simultáneamente desde dos puntos de vista: por un lado, como extensión lógica de la programación matemática, y por otro, como la generalización de un problema peculiar de la teoría de juegos (juego de Stackelberg). Este concepto de juego de Stackelberg en la teoría de juegos no cooperativa se propuso en Stackelberg (1952), es muy conocido y puede verse como un juego con dos participantes en un mercado donde hay una firma dominante que optimiza su propio criterio considerando la reacción de la firma dominada. Cuando la firma dominante optimiza su decisión considerando la mejor respuesta del seguidor se dice que se ha encontrado un equilibrio de Stackelberg. Este esquema es el mismo que se considera en programación Binivel.

El problema de Programación Binivel se refiere a problemas de optimización jerárquica conformado por un líder, que se ven limitados por otro problema de optimización conformado por un seguidor. Se utiliza a menudo para describir situaciones en las que varios agentes, interconectados en una estructura jerárquica, con objetivos independientes, buscan la solución a problemas que se encuentran relacionados entre sí como es el caso en donde el líder establece parámetros que influyen en el seguidor o viceversa.

En el caso de la cadena de suministro de la agroindustria del cacao planteada, intervienen “ n ” productores, “ m ” centros de acopio, “ q ” mercados y “ r ” tipos de cacao.

El productor $i, i = 1, \dots, n$ le vende a cada centro de acopio $j, j = 1, \dots, m$ una cantidad de tipo de cacao $k, k = 1, \dots, r$ expresada como $QRPCCA_{ijk}$ a un precio $PCCA_{jk}$ de tal manera que maximice sus ingresos teniendo en cuenta sus costos de producción CQP_i , costos de transporte $CQTPCA_{ij}$ y la capacidad de los productores $CAPP_i$.

El centro de acopio $j, j = 1, \dots, m$ recibe de cada uno de los productores $i, i = 1, \dots, n$ una cantidad de tipo de cacao $k, k = 1, \dots, r$ expresada como $QRPCCA_{ijk}$ y se los compran a un precio $PCCA_{jk}$; estos mismo venden al mercado $l, l = 1, \dots, q$ la cantidad de cacao $QVCAMC_{jlk}$ a un precio de venta $PQCM_{lk}$ de tal manera que se maximicen sus utilidades teniendo en cuenta los costo de operación y envío $CQVCAMC_{jl}$, satisfacer una demanda $DEMMER_{lk}$ y la capacidad de los centros de acopio $CAPCA_j$.

El centro de acopio y los productores realizan juego de duopolio de Stackelberg⁵, donde cada uno escoge su función que maximice sus utilidades, en este caso el problema de programación binivel planteado se tienen dos niveles de decisión, el nivel alto (Donde hay un líder) que son el centro de acopio y el nivel bajo (Donde hay un seguidor o seguidores), que son los productores.

A raíz de la complejidad en la búsqueda de la solución, el enfoque clásico para la solución de estos problemas de programación Binivel ha sido el de transformar el problema de dos niveles en uno de un solo nivel, reemplazando el problema de optimización de nivel inferior por sus condiciones de optimalidad Karush-Kuhn-Tucker (KKT). Siendo estas condiciones necesarias y suficientes para definir el

⁵ En un modelo Stackelberg, el equilibrio se alcanza cuando el jugador1, adelantándose a su competidor, amplía la producción y se asegura mayores beneficios. De ahí el término .la ventaja de ser el primero.. El jugador 2 se ve obligado a reducir la producción, dado que el líder (Jugador 1) ya ha producido una gran cantidad (cuando una produce más, el otro reacciona produciendo menos).

óptimo del problema de nivel inferior, y se consigue substituyendo el nivel inferior del modelo con las condiciones KKT.

$$\max f_1(x)$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} \nabla f_i(x) + \sum_{t=1}^T U_t \nabla g_t(x) &= 0 & i = 2, \dots, k \\ U_t g_t(x) &= 0 \\ g(x) &\leq 0 \\ U_t &\geq 0 \end{aligned}$$

Siendo T es el número de restricciones., ∇_1 es el gradiente con respecto a x_1 (de las variables controladas por el subnivel i)

Teniendo en cuenta el modelo de programación Binivel propuesto en el capítulo anterior en el inciso 3.2.2, para aplicar la Programación Binivel al problema de la cadena de suministro agroindustrial del cacao, el modelo se transforma en un problema de optimización no lineal de un nivel simple, substituyendo el problema de nivel inferior en condiciones de optimalidad de Karush-Kuhn-Tucker. (Kuhn, H. & Tucker, A. 1951). Expresando el problema inicial de la siguiente forma: el problema se puede formular de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \mathbf{Max} = & \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^r PQCM_{lk} * QVCAMC_{jlk} - \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^r CQVCAM_{jl} * QVCAMC_{jlk} \\ & - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r PCCA_{jk} * QRPCCA_{ijk} \end{aligned}$$

Sujeto a:

Para $g_t(x) \leq 0$

$$QVCAMC_{jlk} - DEMMER_{lk} \leq 0 \quad \forall j, l, k$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r QRPCCA_{ijk} - CAPCA_j \leq 0 \quad \forall j$$

$$\sum_{i=1}^n QRPCCA_{ijk} - \sum_{l=1}^q QVCAMC_{jlk} \leq 0 \quad \forall j, k$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r PCCA_{jk} * QRPCCA_{ijk} - \sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^r PQCM_{lk} * QVCAMC_{jlk} \leq 0 \quad \forall j$$

$$QP_i - CAPP_i \leq 0 \quad \forall i$$

$$QP_i - \sum_{j=1}^m QTPCA_{ij} \leq 0 \quad \forall i$$

$$QTPCA_{ij} - \sum_{k=1}^r QRPCCA_{ijk} \leq 0 \quad \forall i, j$$

Para $U_t g_t(x) = 0$

$$Ut_{jlk} * (QVCAMC_{jlk} - DEMMER_{lk}) = 0 \quad \forall j, l, k$$

$$Ut_j * \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r QRPCCA_{ijk} - CAPCA_j \right) = 0 \quad \forall j$$

$$Ut_{jk} * \left(\sum_{i=1}^n QRPCCA_{ijk} - \sum_{l=1}^q QVCAMC_{jlk} \right) = 0 \quad \forall j, k$$

$$Ut_j * \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r PCCA_{jk} * QRPCCA_{ijk} - \sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^r PQCM_{lk} * QVCAMC_{jlk} \right) = 0 \quad \forall j$$

$$Ut_i * (QP_i - CAPP_i) = 0 \quad \forall i$$

$$Ut_i * \left(QP_i - \sum_{j=1}^m QTPCA_{ij} \right) = 0 \quad \forall i$$

$$Ut_{ij} * \left(QTPCA_{ij} - \sum_{k=1}^r QRPCCA_{ijk} \right) = 0 \quad \forall i, j$$

$$\text{Para } \nabla f_i(x) + \sum_{t=1}^T U_t \nabla g_t(x) = 0$$

$$\begin{aligned} \nabla f_i(x) + Ut_j * \nabla \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r QRPCCA_{ijk} - CAPCA_j \right) + Ut_{jk} \\ * \nabla \left(\sum_{i=1}^n QRPCCA_{ijk} - \sum_{l=1}^q QVCAMC_{jlk} \right) + Ut_i * \nabla (QP_i - CAPP_i) + Ut_i \\ * \nabla \left(QP_i - \sum_{j=1}^m QTPCA_{ij} \right) + Ut_{ij} * \nabla \left(QTPCA_{ij} - \sum_{k=1}^r QRPCCA_{ijk} \right) = 0 \end{aligned}$$

$$\text{Para } U_t \geq 0$$

$$U_t \geq 0$$

El modelo fue implementado con la ayuda del software GAMS (General Algebraic Modeling System), como su nombre lo indica es un lenguaje de modelización, más que un programa para resolver problemas de optimización. La ventaja que presenta este programa GAMS, es que junto al módulo de modelización (base) incorpora diferentes solver (algoritmos de resolución de problemas) tanto de programación no lineal, como lineal y entera.

Para resolver este tipo de problema se recurrirá a la herramienta u optimizador CONOPT⁶, el cual utiliza como fundamento algorítmico al Gradiente Reducido

⁶ CONOPT está basado en el método del gradiente reducido (GRG). Utiliza técnicas matriciales que permite darle solución a modelos complejos, Establece diferentes tolerancias y mediante rutinas de reinversión encuentra una buena aproximación al óptimo global.

Generalizado (GRG) y la Programación lineal secuencial y la programación cuadrática secuencial para determinar el valor mínimo (o máximo) de la función objetivo.

Inicialmente se programó este modelo con todas las instancias, es decir con 457 productores, este fue enviado al neos-server⁷ para su óptima solución, arrojando problemas de memoria debido a que el modelo es demasiado grande. (Ver figura 23.). En búsqueda de una solución se utilizó el diagrama de Pareto⁸, de tal manera que me permita poder determinar, priorizar y delimitar el modelo.

```
GAMS Rev 239 LEX-LEG 23.9.5 x86_64/Linux      01/28/13 08:30:06 Page 1
General Algebraic Modeling System
Compilation

COMPILATION TIME = 0.404 SECONDS  8 Mb LEX239-239 Nov 9, 2012

GAMS Rev 239 LEX-LEG 23.9.5 x86_64/Linux      01/28/13 08:30:06 Page 2
General Algebraic Modeling System
Model Analysis SOLVE Model1 Using NLP From line 24632

*** Out of Memory while executing line 16647

Heap Statistics for heap: BBMgr
Memory in use = 3,030 Mb
Highest memory used = 3,030 Mb
Large blocks available = 0

*** Out of Memory in New or GetMem.
*** HeapLimit = 1E20 HeapSize = 3177
```

Figura 23. Solución del modelo enviada por Neos Server

De acuerdo a la figura 24, en el diagrama de Pareto, se puede apreciar que el municipio de Santa Rosa del Sur tiene prioridad ante los demás municipios teniendo en cuenta su capacidad de producción y número de productores que conforman los diferentes corregimientos y veredas, debido a que estas variables llegan a representar el 80% de los datos.

⁷ Servidor externo que resuelve problemas de optimización de forma automática, solo necesita la definición del problema de optimización por parte del usuario.

⁸ Diagrama que nace del análisis de Vilfredo Pareto, un economista italiano que descubrió que en cualquier situación siempre existen muchos aspectos triviales (de poca importancia) y pocos vitales (muy importantes).

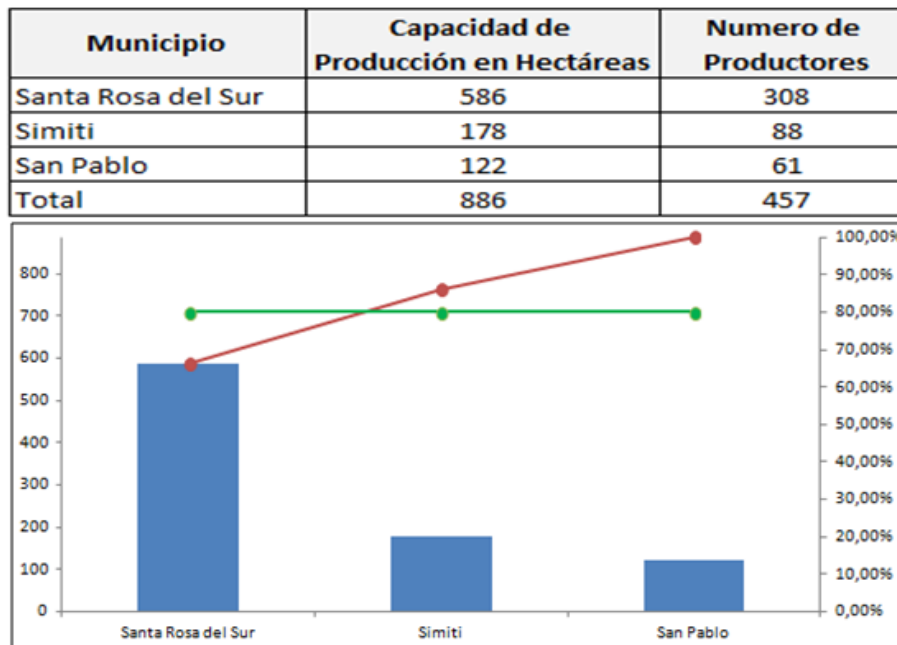


Figura 24. Diagrama de Pareto con Capacidades de Producción

Fuente: Autor del proyecto

Como existe semejanza entre las capacidades de cada uno de productores, que en promedio equivalen a 2 toneladas de cacao, se aplicó el principio de cercanía, para el municipio de Santa Rosa del Sur, agrupando los 308 productores por corregimiento y vereda, logrando establecer así 34 grupos de producción (W).

A estos 34 grupos de producción se les aplicó nuevamente el diagrama de Pareto, y se pudo analizar que del total solo 15 grupos representan el 80%. A partir de esta premisa se procedió a evaluar el modelo, teniendo en cuenta entonces 15 grupos de productores (W) conformados por 246 productores (i), 2 centros de acopios (j) conformados por la asociación e intermediarios, tres tipos de productos (k) como son el cacao premio, corriente y pasilla y dos mercados (l) conformado por la grande y pequeña empresa. (Ver figura 25). Los parámetros y las variables que se presentan para la solución del modelo, están ligados con los costos de producción, el transporte, la capacidad, los precios de los productos, la demanda y las cantidades de producción, de transporte y de ventas.

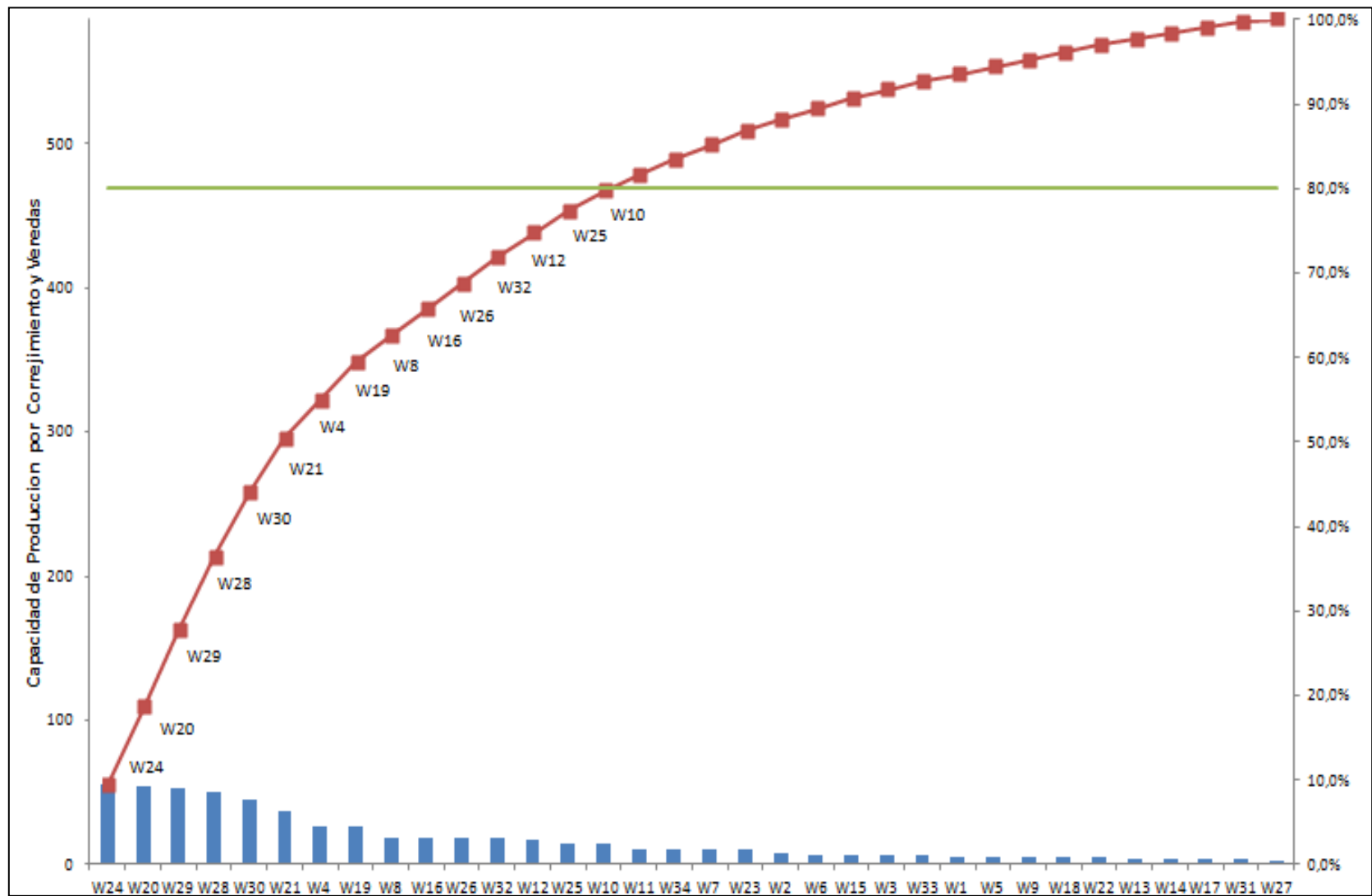


Figura 25. Diagrama de Pareto por grupos de productores

Fuente: Autor del proyecto

Parámetros

CQP(i)	Costo de producir por el productor i (Ver anexo 1.)
CQTPCA(i,j)	Costo por tonelada de cacao transportado desde el productor i hasta el centro de acopio j (Ver anexo 1.).
PCCA(j,k)	Precio de tonelada de cacao del centro de acopio j para el tipo de producto k

	Tipo de producto 1	Tipo de producto 2	Tipo de Producto 3
Centro de acopio 1	\$ 2.000.000	\$ 4.000.000	\$4.500.000
Centro de acopio 2	\$ 1.000.000	\$ 3.500.000	\$4.000.000

PQCM(l,k)	Precio de tonelada de cacao del mercado l para el tipo de producto k
------------------	----------------------------------------------------------------------

	Tipo de producto 1	Tipo de producto 2	Tipo de Producto 3
Mercado 1	\$ 3.000.000	\$ 5.000.000	\$5.500.000
Mercado 2	\$ 2.000.000	\$ 4.500.000	\$5.000.000

CQVCAMC(j,l)	Costo de operación y envío de tonelada de cacao en el centro de acopio j al mercado l
---------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

	Mercado 1	Mercado 2
Centro de Acopio 1	\$ 80.000	\$ 0
Centro de Acopio 2	\$ 0	\$ 40.000

CAPP(i)	Capacidad del productor i (Ver anexo 1.).
----------------	-------------------------------------------

CAPCA(j)	Capacidad del centro de acopio j
-----------------	----------------------------------

Centro de acopio 1	1200
--------------------	------

Centro de Acopio 2 50

DEMME<i>R</i>(<i>I</i>,<i>k</i>)	<i>Demanda del mercado I del tipo de cacao k</i>		
	<i>Tipo de producto 1</i>	<i>Tipo de producto 2</i>	<i>Tipo de Producto 3</i>
<i>Mercado 1</i>	120	480	600
<i>Mercado 2</i>	5	20	25

Variables

QP(<i>i</i>)	<i>Toneladas de cacao producida por el productor i</i>
QTPCA(<i>i</i>,<i>j</i>)	<i>Toneladas de cacao transportada desde el productor i hasta el centro de acopio j</i>
QRPCCA(<i>i</i>,<i>j</i>,<i>k</i>)	<i>Toneladas de cacao recibida desde el productor i en el centro de acopio j del tipo de cacao k</i>
QVCAMC(<i>j</i>,<i>I</i>,<i>k</i>)	<i>Tonelada de cacao vendida por el centro de acopio j al mercado I del tipo de cacao k</i>
Zpd	<i>Utilidades totales producto de las ventas y los costos de producción y transporte del agente productor</i>
Zca	<i>Utilidades totales producto de las ventas y los costos asociados a la compra, operación y envío del agente centro de acopio</i>

Para la información perteneciente a los parámetros del modelo, se contó con la ayuda de personas del área técnica como José Fabián Vargas y de las áreas administrativas como Orlando Vargas, pertenecientes a la cooperativa APROCASUR⁹ ubicada en el municipio de Santa Rosa del Sur, a su vez con el apoyo del ingeniero Herminson Zarza, coordinador de proyectos de esta misma cooperativa ubicada en el municipio del Carmen de Bolívar. (Ver Anexo 2.).

⁹ Asociación de Productores de Cacao del Sur de Bolívar y Magdalena medio.

Antes de iniciar la programación, se deben realizar los cálculos de los gradientes con respecto a las variables controladas por el seguidor (QP_i , $QRPCCA_{i,j,k}$ y $QTPCA_{i,j}$), se utilizó el software Wx-Máxima¹⁰ versión 12.04.0, la ventaja que genera este programa es que produce resultados con alta precisión usando fracciones exactas y representaciones con aritmética (Ver Anexo 3.).

En el Anexo 4, se puede apreciar en detalle la programación de este modelo económico Binivel, teniendo en cuenta dos instancias, primero en forma normal sin las condiciones KKT y segundo cuando se hace la transformación a un problema de un nivel simple, sustituyendo el problema de nivel inferior en condiciones de optimalidad KKT. Para ambos la calidad de respuesta de la función objetivo que arrojaron los modelos fue semejante, garantizando así la validez de los procedimientos realizados.

La primera instancia en forma normal genera un total de 2220 variables de decisión, de las cuales 246 corresponden a la variable QP_i , 492 a la variable $QTPCA_{i,j}$, 1476 a la variable $QRPCCA_{i,j,k}$ y 6 a la variable $QVCAMC_{j,l,k}$; además presenta 1000 restricciones de las cuales 6 son de demanda del líder, 2 de capacidad del líder, 6 de equilibrio del líder, 2 de seguridad de no pérdidas, 246 de capacidad del seguidor, 246 de equilibrio de transporte, y 492 de equilibrio del seguidor.

La segunda instancia con condiciones KKT, genera un total de 2220 variables de decisión, 996 multiplicadores de Kunt Tucker, 4214 restricciones de las cuales 2214 son de gradiente, 1000 bajo la condición menor e igual a cero y 1000 bajo la condición de iguales a cero pero afectada por cada uno de los multiplicadores correspondientes.

¹⁰ Es un programa libre cuyo objeto es la realización de cálculos matemáticos simbólicos (aunque también numéricos), capaz de manipular expresiones algebraicas, derivar e integrar funciones y realizar diversos tipos de gráficos.

Ambos modelos se corrieron en un equipo con características de 4.00 GB de memoria RAM y un sistema operativo de 32 bits con Windows 7. La solución al problema y de las variables se resume a continuación:

$QP(i)$	<i>Toneladas de cacao producida por el productor i (Ver anexo 5)</i>		
$QTPCA(i,j)$	<i>Toneladas de cacao transportada desde el productor i hasta el centro de acopio j (ver anexo 5)</i>		
$QRPCA(i,j,k)$	<i>Toneladas de cacao recibida desde el productor i en el centro de acopio j del tipo de cacao k (ver anexo 5)</i>		
$QVCAMC(j,l,k)$	<i>Tonelada de cacao vendida por el centro de acopio j al mercado l del tipo de cacao k</i>		
	<i>Producto tipo 1</i>	<i>Producto tipo 2</i>	<i>Producto tipo 3</i>
$C1M1$	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>467</i>
Zpd	<i>Función Objetivo del agente productor (ver anexo 5).</i>		
	<i>$Zpd : 326.862.000$</i>		
Zca	<i>Función Objetivo del agente centro de acopio</i>		
	<i>$Zca: 1.204.000.000$</i>		

Con respecto a las soluciones anteriores, cabe destacar que gran parte de los problemas de planificación en la cadena de suministros requieren de la toma de decisiones de los diferentes agentes que la componen, es por esto que las decisiones que tomen de los diferentes niveles influyen en los resultados esperados por cada uno de ellos. Es aquí donde toma importancia el modelo propuesto de Programación Binivel, debido a que permite describir el comportamiento de dos agentes que actúan en diferentes situaciones, interconectados por medio de una cadena jerárquica de suministros, con objetivos independientes, buscando así la solución a problemas que se encuentran relacionados entre sí como es el caso en donde el centro de acopio establece parámetros que influyen en los productores.

4.2 SOLUCIÓN DEL MODELO ECONÓMICO DE VALOR DE SHAPLEY

A partir de los resultados obtenidos en el modelo económico de Programación Binivel, se inicia la búsqueda a la solución de un modelo colaborativo, en donde los productores (i) buscan la maximización de sus utilidades por medio de las posibles coaliciones que se puedan presentar entre ellos, debido a que el propósito es la búsqueda de los beneficios en forma conjunta, para la solución de este modelo hay que tener en cuenta los 15 grupos de productores (W) conformados por 246 productores (i), 2 centros de acopios (j) conformados por la asociación e intermediarios, tres tipos de productos (k) como son el cacao premio, corriente y pasilla.

El juego colaborativo de los productores de cacao, consiste en que cada uno de los productores (i), le vende a cada centro de acopio j , una cantidad de tipo de cacao k , como $QRPCCA_{ijk}$ a un precio $PCCA_{jk}$ de tal manera que maximice sus ingresos teniendo en cuenta sus costos de producción CQP_i , costos de transporte $CQTPCA_{ij}$ y la capacidad de los productores $CAPP_i$.

Asumiendo la posible colaboración entre ellos, unos de los parámetros que se podrían ver afectados serían los costos de producción, que lógicamente al unirse los costos de producción (CQP_i) se convierten en nuevo costo (CQP_w) de tal manera que maximice sus utilidades.

Actualmente estos costos de producción, están conformados por costos de mano de obra, costos de materiales, costos de herramientas y equipos y costos por asesorías y consultorías técnicas, siendo este último en promedio de \$450.000 pesos anuales para cada uno¹¹ (Ver anexo 2). Esto quiere decir que al momento de formar coaliciones los costos de producción se verán afectados, debido a que

¹¹ Datos suministrados por Aprocasur el cual determina unos costos estimados para el cultivo, procesamiento y producción de cacao.

un solo jugador quedaría exento de pagar este costo de asesorías y consultorías técnicas, en beneficio propio y de los demás. Lo anteriormente se vería representado en la llamada función característica del juego, en donde el productor (i) de la coalición (w) que genere menos utilidades del juego individual, asumiría los costos de asesorías y asistencia técnica, por ende el jugador con mayor utilidad del juego individual estaría exento de pagar por este servicio, esto garantiza que entre mayor sea el número de participantes del juego, se refleje un menor descuento, debido a que las cooperativas encargadas de dichas asesorías tendrían que instruir y recorrer mayor número de jugadores.

Para poder determinar las utilidades de las coaliciones, teniendo en cuenta el modelo planteado (ecuación 12), se utilizó la ayuda del software GAMS, de tal manera que nos permitiera determinar las utilidades de las coaliciones, La función característica del juego bajo el enfoque de colaboración. La programación se puede ver claramente en el anexo 6.

```

GENERATION TIME      =      0.016 SECONDS      3 Mb WEX236-236 Apr  6, 2011

EXECUTION TIME       =      0.031 SECONDS      3 Mb WEX236-236 Apr  6, 2011
GAMS Rev 236 WEX-WEI 23.6.5 x86_64/MS Windows      03/14/13 12:40:49 Page 11
General Algebraic Modeling System
Solution Report      SOLVE Model2 Using NLP From line 851

                S O L V E      S U M M A R Y

MODEL  Model2          OBJECTIVE  Zpd
TYPE   NLP             DIRECTION  MAXIMIZE
SOLVER CONOPT         FROM LINE  851

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE    352062000.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT      0.109      100000.000
ITERATION COUNT, LIMIT     18         300000
EVALUATION ERRORS          0           0
CONOPTD 0.1      Dec 13, 2010 23.6.5 WEX 24181.24195 WEI x86_64/MS Windows

```

Figura 26. Resultados de la función objetivo del modelo colaborativo de los productores
Fuente: Tomado de los resultados arrojados por el software GAMS

En la figura 26. Se puede observar el resultado de la función objetivo de los productores, el cual corresponde a \$352.062.000 millones de pesos, esto quiere decir que si se compara con el modelo Binivel donde las utilidades fueron de \$326.862.000, existe un incremento en la función de \$25.200.000 millones de pesos.

Además de eso, las utilidades teniendo en cuenta las 15 coaliciones (w) son los siguientes: (Ver Tabla 4.).

Tabla 4. Resultados por coaliciones y escenarios a analizar

W1	\$ 19.450.000
W2	\$ 14.630.000
W3	\$ 13.888.000
W4	\$ 13.894.000
W5	\$ 14.700.000
W6	\$ 17.750.000
W7	\$ 37.530.000
W8	\$ 27.390.000
W9	\$ 40.130.000
W10	\$ 11.700.000
W11	\$ 15.300.000
W12	\$ 40.050.000
W13	\$ 39.170.000
W14	\$ 33.380.000
W15	\$ 13.100.000
TOTAL	\$ 352.062.000

Teniendo las utilidades totales de cada coalición, se procede entonces a aplicar el cálculo del Valor de Shapley, el cual va a garantizar que exista una estabilidad a largo plazo y un justo reparto de los beneficios, es decir, que ninguno de los participantes esté interesado en romper el acuerdo. Para poder llevar a cabo este cálculo, se tomaron cuatro escenarios uno con un número de seis productores (W3 con 6 productores y una utilidad a repartir de \$13.888.000), otro con nueve

productores (W15, con 9 productores y una utilidad a repartir de \$13.100.000), con catorce productores (W6, con 14 productores y una utilidad a repartir de \$17.750.000) y por ultimo una con diecinueve productores (W8, con una utilidad a repartir de \$27.390.000). Con el fin de probar con diferentes instancias, verificar y comparar los resultados y además poder determinar cuánto le corresponde a cada uno de los productores que hacen parte de dicha coalición.

Esta selección de escenarios, se hizo teniendo para la programación de los cálculos de la función característica y del Valor de Shapley, en donde se utilizó el lenguaje de programación Java, bajo un entorno NetBeans IDE 7.2.1¹² siendo este un lenguaje de programación orientado a objetos POO¹³, que para su desarrollo con instancias pequeñas no se contemplan grandes desbordamientos de memoria es decir, cada combinación que se genera en el programa se crea mediante un objeto, por lo tanto resulta viable por las pruebas que se hicieron, encontrar una solución con seis, nueve, catorce, y diecinueve productores, en la cual, en la medida que se aumentan el numero de productores, aumenta el número de combinaciones , ya que su incremento es de forma exponencial de tipo 2^{n-1} , siendo un problema de tipo Np-Hard, que al ejecutarlo se contemplan grandes consumos de memoria, por tanto es necesario buscar un equipo cómputo de mayor robustez. (Ver Tabla 5.).

Tabla 5. Cálculo del número de combinaciones posibles

n	COMBINACIONES
6	63
9	511
14	16383
19	524287
34	17179869183

¹² Es un entorno de desarrollo integrado libre, hecho principalmente para el lenguaje de programación Java.

¹³ Programación que usa los objetos en sus interacciones, para diseñar aplicaciones y programas informáticos.

El equipo de computación empleado en la implementación y ejecución de del programa, fue un DELL OPTIPLEX 740, procesador AMD phenom™ 9600B Quad-Core Processor 2.30 Ghz, 4,00 GB de memoria RAM, con sistema operativo de 32 bits WINDOWS 7.

Teniendo en cuenta las 15 coaliciones de productores, se tomó por consiguiente la de menor número de productores, teniendo así las siguientes características: (Ver Tabla 6.).

Tabla 6. Característica de la coalición W3 con instancia de seis productores

	Productores	QPI	CQPI	QTPCAij	CQTPCAij	PCCAjk	QRPCCAijk	Utilidad Binivel	Utilidad Colaboración	
W3	P25	2	3790000	2	8000	4500000	2	\$ 1.404.000	\$ 10.738.000	\$ 13.888.000
	P26	7	3740000	7	8000	4500000	7	\$ 5.264.000		
	P27	2	3680000	2	8000	4500000	2	\$ 1.624.000		
	P28	1	3610000	1	8000	4500000	1	\$ 882.000		
	P29	1	3690000	1	8000	4500000	1	\$ 802.000		
	P30	1	3730000	1	8000	4500000	1	\$ 762.000		

Para el cálculo del valor de Shapley en un juego coalicional, es necesario como primer paso calcular los valores de la función característica del juego, esta función asigna a cada coalición $S \subseteq N$ un numero real $v(S)$ que se interpreta como el pago monetario o el valor de la coalición, la función característica fue introducida por Von Neumann y Morgenstern (1944) y establece que para cada subconjunto S de N , la función característica de juego ofrece la mayor cantidad $v(S)$ que todos los miembros de S están seguros de recibir si se unen y forman una coalición. Las propiedades que acompañan esta restricción son las siguientes¹⁴:

- **Propiedad de Conjunto Vacío:** es decir el valor de un conjunto vacío es igual a cero.

$$v(\emptyset) = 0$$

¹⁴ Monsalve et al (2005). Teoría de Juegos Clásica – Juegos Coalicionales

- **Propiedad de Superaditividad:** v es superaditiva si cualquier conjunto de jugadores recibe al menos tanto en una coalición como en cualquier subcoalición, se denota de la siguiente forma:

$$v(S \cup T) \geq v(S) + v(T) \text{ para todo } S, T \subseteq N, S \cap T = \emptyset$$

Esta propiedad es importante para determinar que el pago total de la gran coalición es colectivamente racional, porque resulta ser mucho más grande que lo que puede recibir los jugadores independientemente.

- **Propiedad de Suma Constante:** El valor de cualquier coalición y el valor de su complemento siempre suman una cantidad fija, es decir, existe una constante $k \in \mathbb{R}$ tal que:

$$v(S) + v(N \setminus S) = k \quad \forall S \subseteq N$$

La verificación del cumplimiento de las propiedades, se utilizó el lenguaje de programación Java, y se soportó en Microsoft Excel para comparar la calidad de la respuesta. (Ver anexo 7).

Teniendo los valores de la función característica $v(S)$, para el cálculo del Valor de Shapley se utiliza la siguiente ecuación y de igual forma en Microsoft Excel se comparan los resultados con los arrojados en la programación Java (Ver anexo 8).

$$\phi_i(v) = \sum_{S \subseteq N: i \in S} \frac{(S-1)!(n-S)!}{n!} (v(S) - v(S - \{i\}))$$

En la tabla 7, se pueden apreciar los cálculos considerando un número de seis (6) productores. Teniendo en cuenta los cálculos anteriores, en la tabla 8, se evalúa que si todos los productores (i) colaboran entre sí, su utilidad total sería

Tabla 7. Formato para el Calculo en Microsoft Excel del Valor de Shapley

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
1	$(((1-1)!)^6 - 1) / 6! * [V(1) - V(0)]$	$(((2-1)!)^6 - 2) / 6! * [V(1,2) - V(2) + V(1,3) - V(3)] + V(1,4) - V(4) + V(1,5) - V(5) + V(1,6) - V(6)]$	$(((3-1)!)^6 - 3) / 6! * [V(1,2,3) - V(2,3) + V(1,2,4) - V(2,4) + V(1,2,5) - V(2,5) + V(1,2,6) - V(2,6)] + V(1,3,4) - V(3,4) + V(1,3,5) - V(3,5) + V(1,3,6) - V(3,6) + V(1,4,5) - V(4,5) + V(1,4,6) - V(4,6) + V(1,5,6) - V(5,6)]$	$(((4-1)!)^6 - 4) / 6! * [V(1,2,3,4) - V(2,3,4) + V(1,2,3,5) - V(2,3,5) + V(1,2,3,6) - V(2,3,6) + V(1,2,4,5) - V(2,4,5) + V(1,2,4,6) - V(2,4,6) + V(1,2,5,6) - V(2,5,6) + V(1,3,4,5) - V(3,4,5) + V(1,3,4,6) - V(3,4,6) + V(1,3,5,6) - V(3,5,6) + V(1,4,5,6) - V(4,5,6)]$	$(((5-1)!)^6 - 5) / 6! * [V(1,2,3,4,5) - V(2,3,4,5) + V(1,2,3,4,6) - V(2,3,4,6) + V(1,2,3,5,6) - V(2,3,5,6) + V(1,2,4,5,6) - V(2,4,5,6) + V(1,3,4,5,6) - V(3,4,5,6)]$	$(((6-1)!)^6 - 6) / 6! * [V(1,2,3,4,5,6) - V(2,3,4,5,6)]$
2	$(((1-1)!)^6 - 1) / 6! * [V(2) - V(0)]$	$(((2-1)!)^6 - 2) / 6! * [V(1,2) - V(1) + V(2,3) - V(3)] + V(2,4) - V(4) + V(2,5) - V(5) + V(2,6) - V(6)]$	$(((3-1)!)^6 - 3) / 6! * [V(1,2,3) - V(1,3) + V(1,2,4) - V(1,4) + V(1,2,5) - V(1,5) + V(1,2,6) - V(1,6)] + V(2,3,4) - V(3,4) + V(2,3,5) - V(3,5) + V(2,3,6) - V(3,6) + V(2,4,5) - V(4,5) + V(2,4,6) - V(4,6) + V(2,5,6) - V(5,6)]$	$(((4-1)!)^6 - 4) / 6! * [V(1,2,3,4) - V(1,3,4) + V(1,2,3,5) - V(1,3,5) + V(1,2,3,6) - V(1,3,6) + V(1,2,4,5) - V(1,4,5) + V(1,2,4,6) - V(1,4,6) + V(1,2,5,6) - V(2,5,6) + V(2,3,4,5) - V(3,4,5) + V(2,3,4,6) - V(2,3,5,6) - V(3,5,6) + V(2,4,5,6) - V(4,5,6)]$	$(((5-1)!)^6 - 5) / 6! * [V(1,2,3,4,5) - V(1,3,4,5) + V(1,2,3,4,6) - V(1,3,4,6) + V(1,2,3,5,6) - V(1,3,5,6) + V(1,2,4,5,6) - V(1,4,5,6) + V(2,3,4,5,6) - V(2,3,4,5,6)]$	$(((6-1)!)^6 - 6) / 6! * [V(1,2,3,4,5,6) - V(1,3,4,5,6)]$
3	$(((1-1)!)^6 - 1) / 6! * [V(3) - V(0)]$	$(((2-1)!)^6 - 2) / 6! * [V(1,3) - V(1) + V(2,3) - V(2)] + V(3,4) - V(3) + V(3,5) - V(5) + V(3,6) - V(6)]$	$(((3-1)!)^6 - 3) / 6! * [V(1,2,3) - V(1,2) + V(1,3,4) - V(1,4) + V(1,3,5) - V(1,5) + V(1,3,6) - V(1,6)] + V(2,3,4) - V(2,4) + V(2,3,5) - V(2,5) + V(2,3,6) - V(2,6) + V(3,4,5) - V(4,5) + V(3,4,6) - V(4,6) + V(3,5,6) - V(5,6)]$	$(((4-1)!)^6 - 4) / 6! * [V(1,2,3,4) - V(1,2,4) + V(1,2,3,5) - V(1,2,5) + V(1,2,3,6) - V(1,2,6) + V(1,3,4,5) - V(1,4,5) + V(1,3,4,6) - V(1,4,6) + V(1,3,5,6) - V(1,5,6) + V(2,3,4,5) - V(2,4,5) + V(2,3,4,6) - V(2,3,5,6) - V(2,5,6) + V(3,4,5,6) - V(4,5,6)]$	$(((5-1)!)^6 - 5) / 6! * [V(1,2,3,4,5) - V(1,2,4,5) + V(1,2,3,4,6) - V(1,2,4,6) + V(1,2,3,5,6) - V(2,3,5,6) + V(1,2,4,5,6) - V(1,4,5,6) + V(2,3,4,5,6) - V(2,3,4,5,6)]$	$(((6-1)!)^6 - 6) / 6! * [V(1,2,3,4,5,6) - V(1,2,4,5,6)]$
4	$(((1-1)!)^6 - 1) / 6! * [V(4) - V(0)]$	$(((2-1)!)^6 - 2) / 6! * [V(1,4) - V(1) + V(2,4) - V(2)] + V(3,4) - V(3) + V(4,5) - V(5) + V(4,6) - V(6)]$	$(((3-1)!)^6 - 3) / 6! * [V(1,2,4) - V(1,2) + V(1,3,4) - V(1,3) + V(1,4,5) - V(1,5) + V(1,4,6) - V(1,6)] + V(2,3,4) - V(2,3) + V(2,4,5) - V(2,5) + V(2,4,6) - V(2,6) + V(3,4,5) - V(3,5) + V(3,4,6) - V(3,6) + V(4,5,6) - V(5,6)]$	$(((4-1)!)^6 - 4) / 6! * [V(1,2,3,4) - V(1,2,3) + V(1,2,4,5) - V(1,2,5) + V(1,2,4,6) - V(1,2,6) + V(1,3,4,5) - V(1,3,5) + V(1,3,4,6) - V(1,3,6) + V(1,4,5,6) - V(1,5,6) + V(2,3,4,5) - V(2,3,5) + V(2,3,4,6) - V(2,3,6) + V(2,4,5,6) - V(2,5,6) + V(3,4,5,6) - V(3,5,6)]$	$(((5-1)!)^6 - 5) / 6! * [V(1,2,3,4,5) - V(1,2,3,5) + V(1,2,3,4,6) - V(1,2,3,6) + V(1,2,4,5,6) - V(1,2,4,5,6) + V(1,2,5,6) - V(1,3,4,5,6) - V(1,3,5,6) + V(2,3,4,5,6) - V(2,3,5,6)]$	$(((6-1)!)^6 - 6) / 6! * [V(1,2,3,4,5,6) - V(1,2,3,5,6)]$
5	$(((1-1)!)^6 - 1) / 6! * [V(5) - V(0)]$	$(((2-1)!)^6 - 2) / 6! * [V(1,5) - V(1) + V(2,5) - V(2)] + V(3,5) - V(3) + V(4,5) - V(4) + V(5,6) - V(6)]$	$(((3-1)!)^6 - 3) / 6! * [V(1,2,5) - V(1,2) + V(1,3,5) - V(1,3) + V(1,4,5) - V(1,4) + V(1,5,6) - V(1,6)] + V(2,3,5) - V(2,3) + V(2,4,5) - V(2,4) + V(2,5,6) - V(2,6) + V(3,4,5) - V(3,4) + V(3,5,6) - V(3,6) + V(4,5,6) - V(4,6)]$	$(((4-1)!)^6 - 4) / 6! * [V(1,2,3,5) - V(1,2,3) + V(1,2,4,5) - V(1,2,4) + V(1,2,5,6) - V(1,2,6) + V(1,3,4,5) - V(1,3,4) + V(1,3,4,6) - V(1,3,6) + V(1,4,5,6) - V(1,5,6) + V(2,3,4,5) - V(2,3,4) + V(2,3,4,6) - V(2,3,6) + V(2,4,5,6) - V(2,4,6) + V(3,4,5,6) - V(3,4,6)]$	$(((5-1)!)^6 - 5) / 6! * [V(1,2,3,4,5) - V(1,2,3,5) + V(1,2,3,5,6) - V(1,2,3,6) + V(1,2,4,5,6) - V(1,2,4,6) + V(1,3,4,5,6) - V(1,3,4,6) + V(2,3,4,5,6) - V(2,3,4,5,6)]$	$(((6-1)!)^6 - 6) / 6! * [V(1,2,3,4,5,6) - V(1,2,3,4,6)]$
6	$(((1-1)!)^6 - 1) / 6! * [V(6) - V(0)]$	$(((2-1)!)^6 - 2) / 6! * [V(1,6) - V(1) + V(2,6) - V(2)] + V(3,6) - V(3) + V(4,6) - V(4) + V(5,6) - V(5)]$	$(((3-1)!)^6 - 3) / 6! * [V(1,2,6) - V(1,2) + V(1,3,6) - V(1,3) + V(1,4,6) - V(1,4) + V(1,5,6) - V(1,5) + V(2,3,6) - V(2,3) + V(2,4,6) - V(2,4) + V(2,5,6) - V(2,5) + V(3,4,6) - V(3,4) + V(3,5,6) - V(3,5) + V(4,5,6) - V(4,5)]$	$(((4-1)!)^6 - 4) / 6! * [V(1,2,3,6) - V(1,2,3) + V(1,2,4,5) - V(1,2,4) + V(1,2,5,6) - V(1,2,6) + V(1,3,4,6) - V(1,3,4) + V(1,3,4,6) - V(1,3,6) + V(1,4,5,6) - V(1,5,6) + V(2,3,4,6) - V(2,3,4) + V(2,3,5,6) - V(2,3,5) + V(2,4,5,6) - V(2,4,6) + V(3,4,5,6) - V(3,4,6)]$	$(((5-1)!)^6 - 5) / 6! * [V(1,2,3,4,6) - V(1,2,3,4) + V(1,2,3,5,6) - V(1,2,3,5) + V(1,2,4,5,6) - V(1,2,4,5) + V(1,2,4,5,6) - V(1,2,4,6) + V(1,3,4,5,6) - V(1,3,4,5) + V(2,3,4,5,6) - V(2,3,4,5,6)]$	$(((6-1)!)^6 - 6) / 6! * [V(1,2,3,4,5,6) - V(1,2,3,4,6)]$

de \$13.888.000, al calcular este valor de shapley a cada uno de los productores le corresponde una utilidad de ϕ_i :

Tabla 8. Valores de Shapley de reparto de utilidad correspondiente a cada productor

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	$\phi_i(V)$
1	\$ 234.000	\$ 459.000	\$ 256.500	\$ 241.500	\$ 234.000	\$ 234.000	\$ 1.659.000
2	\$ 877.333	\$ 1.402.333	\$ 1.274.833	\$ 1.259.833	\$ 1.252.333	\$ 1.252.333	\$ 7.319.000
3	\$ 270.667	\$ 495.667	\$ 293.167	\$ 278.167	\$ 270.667	\$ 270.667	\$ 1.879.000
4	\$ 147.000	\$ 342.000	\$ 147.000	\$ 147.000	\$ 147.000	\$ 147.000	\$ 1.077.000
5	\$ 133.667	\$ 328.667	\$ 133.667	\$ 133.667	\$ 133.667	\$ 133.667	\$ 997.000
6	\$ 127.000	\$ 322.000	\$ 127.000	\$ 127.000	\$ 127.000	\$ 127.000	\$ 957.000
							\$ 13.888.000

Al comparar los resultados obtenidos en ambos modelos (Binivel y Valor de Shapley), queda evidenciado que los resultados son favorables en un ambiente de colaboración, debido a que se generan mayores ganancias en las utilidades particulares. En la figura 27, se pueden observar los resultados obtenidos con la programación Java en un entorno NetBeans IDE 7.2.1 y que al compararlos y validarlos con el desarrollado en Excel demuestran que hay semejanzas en los resultados.

```

=====
BINIVEL-NO COLABORATIVO
1404000.0
5264000.0
1624000.0
882000.0
802000.0
762000.0
-----
Gran total = 10738000
=====
SHAPLEY-COLABORATIVO
1659000.0
7318999.0
1879000.0
1077000.0
996999.0
957000.0
-----
Gran total = 13888000
BUILD SUCCESSFUL (total time: 0 seconds)

```

Figura 27. Comparación de resultados para instancia con 6 productores
Fuente: Resultados arrojados de la programación en Java

Teniendo en cuenta las 15 coaliciones de productores, se tomó por consiguiente la coalición W15 con un número de 9 productores, asumiendo esta las siguientes características: (Ver tabla 9.).

Tabla 9. Característica de la coalición W15 con instancia de Nueve productores

	Productores	QPi	CQPi	QTPCAij	CQTPCAij	PCCAjk	QRPCAijk	Utilidad Binivel	Utilidad Colaboración
W15	P238	2	3660000	2	120000	4500000	2	\$ 1.440.000	\$ 12.200.000
	P239	2	3680000	2	120000	4500000	2	\$ 1.400.000	
	P240	2	3790000	2	120000	4500000	2	\$ 1.180.000	
	P241	2	3750000	2	120000	4500000	2	\$ 1.260.000	
	P242	2	3690000	2	120000	4500000	2	\$ 1.380.000	
	P243	2	3720000	2	120000	4500000	2	\$ 1.320.000	
	P244	2	3780000	2	120000	4500000	2	\$ 1.200.000	
	P245	2	3800000	2	40000	4500000	2	\$ 1.320.000	
	P246	2	3610000	2	40000	4500000	2	\$ 1.700.000	

En la figura 28, se puede observar que los resultados obtenidos de la programación en Java, muestran que de igual manera cuando los productores forman coaliciones, estos reciben mayores utilidades y beneficios.

```

=====
                BINIVEL-NO COLABORATIVO
                1440000.0
                1400000.0
                1180000.0
                1260000.0
                1380000.0
                1320000.0
                1200000.0
                1320000.0
                1700000.0
-----
Gran total = 12200000
=====
                SHAPLEY-COLABORATIVO
                1540000.0
                1499999.9
                1279999.9
                1360000.0
                1479999.9
                1420000.0
                1299999.9
                1420000.0
                1800000.0
-----
Gran total = 13100000
BUILD SUCCESSFUL (total time: 3 seconds)

```

Figura 28. Comparación de resultados para instancia con 9 productores
Fuente: Resultados arrojados de la programación en Java

Como tercera evaluación se tomó la coalición W6, la cual presenta un número determinado de 14 productores, con una utilidad para repartir cuando trabajan bajo el enfoque de colaboración de \$17.750.000, en la tabla 10 se pueden observar las características para este tipo de instancia.

Tabla 10. Característica de la coalición W6 con instancia de Catorce productores

	Productores	QPI	CQPI	QTPCAij	CQTPCAij	PCCAjk	QRPCAijk	Utilidad Binivel	Utilidad Colaboración
W6	P50	1	3740000	1	160000	4500000	1	\$ 600.000	\$ 16.400.000
	P51	2	3650000	2	160000	4500000	2	\$ 1.380.000	
	P52	1	3800000	1	160000	4500000	1	\$ 540.000	
	P53	1	3620000	1	160000	4500000	1	\$ 720.000	
	P54	3	3790000	3	160000	4500000	3	\$ 1.650.000	
	P55	2	3690000	2	160000	4500000	2	\$ 1.300.000	
	P56	3	3730000	3	160000	4500000	3	\$ 1.830.000	
	P57	2	3740000	2	160000	4500000	2	\$ 1.200.000	
	P58	1	3660000	1	160000	4500000	1	\$ 680.000	
	P59	2	3610000	2	160000	4500000	2	\$ 1.460.000	
	P60	2	3720000	2	160000	4500000	2	\$ 1.240.000	
	P61	3	3780000	3	160000	4500000	3	\$ 1.680.000	
	P62	1	3620000	1	160000	4500000	1	\$ 720.000	
	P63	2	3640000	2	160000	4500000	2	\$ 1.400.000	

Igualmente en la figura 29, se observa que de la misma manera cuando los productores forman coaliciones, estos reciben mayores utilidades y beneficios.

```

=====
BINIVEL-NO COLABORATIVO
600000.0
1380000.0
540000.0
720000.0
1650000.0
1300000.0
1830000.0
1200000.0
680000.0
1460000.0
1240000.0
1680000.0
720000.0
1400000.0
-----
Gran total = 16400000
=====
SHAPLEY-COLABORATIVO
661813.1
1457197.8
601813.1
781813.1
1842582.4
1377197.8
2022582.4
1277197.8
741813.1
1537197.8
1317197.8
1872582.4
781813.1
1477197.8
-----
Gran total = 17750000
BUILD SUCCESSFUL (total time: 38 seconds)

```

Figura 29. Comparación de resultados para instancia con 14 productores
Fuente: Resultados arrojados de la programación en Java

En la medida que el número de productores aumenta, el número de combinaciones, para esta instancia se genera un total de 524287 combinaciones posibles, que al ejecutarlo en el programa con las características del equipo suministradas, este se desarrolla en un tiempo total de 850 minutos y 14 segundos, lo que representa un total de 14 horas ó 51000 segundos aproximadamente. (Ver figura 30.).

```

=====
BINIVEL-NO COLABORATIVO
1160000.0
590000.0
590000.0
680000.0
1320000.0
580000.0
4680000.0|
1520000.0
2040000.0
2070000.0
620000.0
590000.0
580000.0
670000.0
1420000.0
1200000.0
1240000.0
1340000.0
1800000.0
-----
Gran total = 24690000
=====
SHAPLEY-COLABORATIVO
1223277.5
637368.4
637368.4
727368.4
1383277.5
627368.4
6105777.5
1583277.5
2190777.5
2220777.5
667368.4
637368.4
627368.4
717368.4
1483277.5
1263277.5
1303277.5
1403277.5
1950777.5
-----
Gran total = 27390000
BUILD SUCCESSFUL (total time: 850 minutes 14 seconds)

```

Figura 30. Comparación de resultados para instancia con 19 productores
Fuente: Resultados arrojados de la programación en Java

Conclusiones

Hoy en día las empresas se preocupan mucho por sostenerse en el mercado y lograr una estabilidad bajo el principio de colaboración, de tal forma que se puedan compartir los beneficios que se generan en la cadena de manera conjunta. En términos generales, estos estudios han demostrado que los beneficios y su distribución entre los agentes se logran dependiendo de la modalidad de colaboración y cooperación. El valor de Shapley ofrece un marco de apoyo para abordar alianzas y coaliciones estratégicas entre las empresas, de tal manera que se puedan generar beneficios adicionales significativos entre las partes implicadas.

Este trabajo investigativo se inició con una propuesta estructural de modelo conceptual, teniendo en cuenta la planificación colaborativa para la cadena de suministro agroindustrial del cacao, partiendo de una arquitectura técnica para el modelado. Este modelo conceptual permitió describir las principales características, funcionalidades y estructuras, logrando así facilitar un mejor entendimiento a la hora de construir los modelos matemáticos de programación Binivel y valor de shapley, con miras a obtener una mayor productividad y competitividad del sector, gracias a las prácticas analíticas para las soluciones de los problemas.

En este sentido, una de las aportaciones importantes del presente trabajo es la de abordar el desarrollo de modelos matemáticos como herramientas de ayuda a la toma de decisiones, desde una perspectiva de procesos de negocio, en la que se integran distintas vistas (funcional, decisional, informacional y física-organizacional).

Por tal razón se formuló un modelo con enfoque no colaborativo, denominado Modelo Económico de Programación Binivel, cuya característica esencial es que

los agentes de la cadena actúan independientemente, tal es el caso de los productores, los cuales buscan su beneficio propio y para conseguirlo afectan negativamente los intereses de los demás. Este modelo se desarrolló a través del Software GAMS, para poder determinar en forma óptima los valores de la función objetivo del líder y del seguidor, así como también de las variables del modelo, como son las cantidades producidas por el productor, las cantidades transportadas desde el productor hasta los centros de acopio, las cantidades recibidas por parte del centro de acopio y las cantidades vendidas desde el centro de acopio a los mercados.

A raíz de la complejidad en la búsqueda de la solución, se transformó el problema de dos niveles en uno de un solo nivel, reemplazando el problema de optimización de nivel inferior por sus condiciones de optimalidad Karush-Kuhn-Tucker (KKT). El cual implicó realizar cálculos de gradientes con respecto a las variables controladas por el seguidor, aquí fue necesario utilizar el software Wx-Máxima versión 12.04.0, proporcionando resultados exactos y con alta precisión.

Teniendo en cuenta que entre los agentes se pueden presentar enfoques de colaboración, y que este es posible realizarse de tres formas, como son, colaboración entre los productores de cacao, colaboración entre los productores y los centros de acopio y colaboración entre los centros de acopios y los fabricantes. Se planteó y analizó un Modelo Económico de Valor de Shapley, en donde los agentes que hacen parte de la cadena, como los productores, colaboran entre sí y forman coaliciones, de tal manera que se puedan minimizar los costos y obtener mejores utilidades.

Analíticamente se pudieron comparar los dos modelos, teniendo en cuenta que para la formulación de coaliciones se hizo un análisis mediante las relaciones de cercanías por municipios, corregimientos y veredas, utilizando la herramienta de diagrama de Pareto, este análisis arrojó una priorización de 246 productores,

agrupados en 15 coaliciones. El resultado de la función objetivo de los productores, cuando colaboran entre ellos y forman coaliciones corresponde a \$352.062.000 millones de pesos, y de \$326.862.000 millones cuando actúan en un ambiente no colaborativo, eso quiere decir que el incremento de la función es de \$25.200.000 millones de pesos, que representado en forma porcentual equivale en un 7,7% sobre el valor de las utilidades. Esta comparación permitió determinar que en un ambiente de naturaleza colaborativa se generan mayores ganancias que cuando trabajan aisladamente.

Igualmente se tomaron varias instancias o coaliciones, para poder comparar que, en el reparto de utilidades que le corresponde a cada uno de los productores, estas también generaban un mayor beneficio a todos los que hacen parte de la coalición, para esto se tomo una instancia de 6, 9, 14 y 19 productores respectivamente, permitiendo así poder determinar la mejor manera de coalicionar y repartir las utilidades entre los agentes participantes.

Estos resultados se validaron a través de la programación en Java y con apoyo del Microsoft Excel, con tiempos de procesamiento de 0 segundos para una instancia de 6 productores, de 3 segundos para 9 productores, de 38 segundos para el caso de 14 productores y de 51000 segundos para 19 productores, concluyendo así, que en la medida que se aumenta el número de productores en una colación, aumentan el numero de combinaciones posibles, ya que su incremento es de forma exponencial de tipo 2^{n-1} , siendo un problema de tipo Np-Hard, el cual al ejecutarlo contemplan grandes consumos de memoria.

Por tal razón se planteo la formulación de un Modelo Híbrido de planificación colaborativa bajo el enfoque de programación Binivel y Valor de Shapley, en dicho modelo se tendrán en cuenta las decisiones tomadas por el líder pero de igual forma los seguidores podrán hacer coaliciones y trabajar bajo un enfoque de colaboración.

Para futuras investigaciones, se deja el campo abierto para incorporar otros ambientes de colaboración entre los productores, aparte de los costos de producción por asesorías técnicas, sería bueno tener en cuenta los costos por materias primas e insumos, ya que en una coalición mayor es el número de productores y mayores serán los descuentos teniendo en cuenta los volúmenes de compra con los proveedores (descuento por cantidad). De igual si se quiere dar respuestas a instancias mayores en el Modelo de Económico de Valor de Shapley, se debe buscar un equipo cómputo de mayor robustez y así resolver el problema de la complejidad computacional.

Bibliografía

- ALARCÓN, F., LARIO, F. C., BOZÁ, A., & PÉREZ, D.** (2007). *"Propuesta de marco conceptual para el modelado del proceso de Planificación Colaborativa de Operaciones en contextos de Redes de Suministro/Distribución (RdS/D)"*, en Congreso de Ingeniería de Organización, XI ed., Madrid.
- ALEMANY, M., ALARCÓN, F., LARIO, F. & BOJ, J.** (2009). *"Caracterización del Procesos de planificación colaborativo de una cadena de suministro del sector cerámico"*. 3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. Barcelona
- ANDERSON, E., & BAO, Y.** (2010). *"Price competition with integrated and decentralized supply chains"*. European Journal of Operational Research, 200, P. 227–234.
- ANDREU, R., RICART, J., & VALOR, J.** (1991), *"Sistemas de Información y la Organización, ¿Ventajas o desventajas competitivas?"*, Documento de investigación DI nº 203, IESE Universidad de Navarra
- ARANZAZU, H., RODRIGUEZ E. JAIMES & RINCON D.** (2008). *"Evaluación de la resistencia genética a Monilophthora roreri de algunos materiales de cacao universales y regionales de Colombia"*. En: Memorias Seminario Internacional de Cacao. Avances de Investigación. Junio 26 y 27 de 2008. Bucaramanga, Colombia. P. 165 – 183.
- ARIZA, A.** (2006). *"El cacao en cifras"*. Federación Nacional de Cacaoteros. Bogotá. P. 34.
- BARD, J.,** (1983). *"An efficient point algorithm for a linear two-stage optimization problem"*. Operations Research 31, P. 670–684.
- BARD, J.,** (1988). *"Convex two-level optimization mathematical programming"*. Mathematical Programming 40, P.15–27.
- BARD, J.,** (1998). *"Practical bilevel optimization. Algorithms and applications"*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- BARRATT, M.** (2004). *"Understanding the meaning of collaboration in the supply chain"*. Supply Chain Management: An International Journal., Vol. 9, No.1, P.30-42.

- BARROS, O.** (1981). *“Cacao. Manual de Asistencia Técnica No. 23”*. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Bogotá. Colombia.
- BARTHOLDI J., & KEMAHLIOGLU-ZIYA, E.,** (2005). *“Using Shapley value to allocate savings in a supply chain”*. Springer Science Business Media Inc., New-York, U.S.A., P.169–208.
- BEAMON, B.** (1998). *“Supply chain design and analysis: models and methods”*. International Journal of Production Economics, 55(3), P. 281-94.
- BEAMON, B.** (1999). *“Measuring supply chain performance”*. International Journal of Operations & Production Management], P. 275-292.
- BERRY, D., & NAIM, M.** (1994). *“A systems engineering analysis of information and material flows in a manufacturing company”*. Factory 2000 - Advanced Factory Automation, Conference Publication N° 398
- BIAZARAN, M., & GHARAKHANI, M.** (2011). *“A game theoretic approach to coordinate pricing and vertical co-op advertising in manufacturer–retailer supply chains”*. European Journal of Operational Research, 211, P. 263-273.
- BISANG, R. & SZTULWARK, S.** (2009), *“Rentas económicas e inserción en cadenas globales de valor. El caso de la agro-industria argentina”*, en Dabat, A., M. A. Pozas y M. Rivera Ríos, Redes globales de producción, rentas económicas y estrategias de desarrollo. El papel de América Latina, UNAM, México.
- BLACKBUM, L.** (1991), *“The quick-response movement in the apparel industry: a case study in time-compressing supply chains”*, Time-Based Competition, Business One Irwin, New York, P. 246-69.
- BOWERSOX, D., CLOSS, D., & STANK, T.** (2000). *“Ten mega-trends that will revolutionize supply chain logistics”*. Journal of Business Logistics, Vol. 21, No.2, P. 1-16.
- BURNS, J. & SIVAZLIAN, B.** (1978). *“Dynamic analysis of multi-echelon supply systems”*. Computers & Industrial Engineering.
- BURTON, R.** (1995). *“Design Models for Hierarchical Organizations: Computation, Information, and Decentralization”*. Kluwer Academic Publishers.

- BUSTAMANTE, H.** (2009). *“Propuesta modelo de Redes Colaborativas en Proyectos de Infraestructura en Interconexión Eléctrica S.A.”* Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia. P.10.
- CACHON, G.** (1999). *“Competitive supply chain inventory management. In S. Tayur, R. Ganeshan & M. Magazine”*. Quantitative models for supply chain management. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers. P. 111-146.
- CALDERÓN, J., & LARIO F.,** (2005). *“Análisis del modelo SCOR para la gestión de la cadena de suministro”*. IX Congreso de ingeniería de organización. Gijón, 8 y 9 de septiembre de 2005.
- CALVETE, H., GALÉ, C. & OLIVEROS J..** (2007). *“El impacto del modelo de optimización en el marco de la relación entre sistemas de producción y distribución”*. Primer Congreso de Logística y Gestión de la Cadena de Suministro Zaragoza.
- CALVETE, H. & GALÉ, C.,** (2010). *“A Multiobjective Bilevel Program for Production-Distribution Planning in a Supply Chain,”* Multiple Criteria Decision Making for Sustainable Energy and Transportation Systems, P. 155–165.
- CAO, M., VONDEREMBSE, M., ZHANG, Q. & RAGU-NATHAN, T.** (2010). *“Supply chain Collaboration: conceptualization and instrument development”*. International Journal of Production Research. Vol. 48, No. 22, P. 6613-6635.
- CASTELLANOS O., CORREA Z., CONTRERAS C., FONSECA S., & ARRAUT L.** (2011). *“Balance Tecnológico de la cadena productiva y agroindustrial del cacao”*, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- COMPANYS, R.** (2003). *“Teoría de la decisión”*. Publicacions D’Abast S.L.L.
- COMPANYS, R.** (2005). *“Diseño de sistemas productivos y logísticos”*. EPSEB-UPC.
- COOPER, M., LAMBERT, D., & PUGH, J.** (1997). *“Supply Chain Management: More Than a New Name of Logistics”*, The International Journal of Logistics Management, Vol.8, N°.1, P.1-13.
- CURRALL, S., & JUDGE, T** (1995). *“Measuring trust between organizational boundary role persons”*, Organizational Behaviour and Human Decision Processes, Vol.84, N°.2, P.151-170.

- CHANDRA, K. & KUMAR, S.** (2000). *“Supply chain management in theory and practice: a passing fad or a fundamental change”*. Industrial Management & Data Systems, N^o.100/03, P.100-113.
- CHANDRA, C. & TUMANYAN, A.** (2007). *“Organization and problem ontology for supply chain information support system”*. Data & Knowledge Engineering, Vol. 61, P. 263–280.
- CHEN, R. & YIN, S.** (2010). *“The equivalence of uniform and Shapley value-based cost allocations in a specific game”*. Oper. Res. Lett. 38(6): P. 539-544
- CHOPRA, S.** (2009). *“Supply Chain Management”*. Pearson Education. Edición 3
- CHRISTOPHER, M.** (1998). *“Logistics and Supply Chain Management: Strategies for reducing cost and improving services”*. Second edition, Financial Times/prentice Hall, London.
- DAUGHERTY, P., RICHEY, R., ROATH, A., MIN, S., CHEN, H., ARNDT, A. & GENCHEV, S.** (2006). *“Is collaboration paying off for firms?”*. Business Horizons, Vol. 49 No. 1, P. 61-70.
- DEMPE, S.,** (2002). *“Foundations of Bilevel Programming”*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- DOBOS, I., & PINTÉR, M.** (2010). *“Cooperation in supply chains: A cooperative game theoretic analysis: working paper”*. Corvinus University of Budapest, HU ISSN 1786-3031
- DUDEK, G. & STADTLER, H.,** (2005). *“Negotiation-based collaborative planning between supply chains partners”*. European Journal of Operational Research 163.3: P. 668-87.
- ELLEGAARD, C., JOHANSEN, J., & DREJER, A.** (2003). *“Managing industrial buyersupplier relations-the case for attractiveness”*, Integrated Manufacturing Systems, Vol.14, No.4, P.346-356
- ESMAEILI, M., ARYANEZHAD, M., & ZEEPHONGSEKUL, P.** (2009). *“A game theory approach in seller–buyer supply chain”*. European Journal of Operational Research, 195, P. 442–448.
- ESPINAL, C., MARTINEZ, H. & HERMIDA, L.** (2005). *“ La cadena del cacao en colombia, una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005 - Bogota*

- FISHER, M.** (1997), "What is the right supply chain for your product?". Harvard Business Review, Vol. 75 No. 2, P. 1 05- 1 6.
- FISKE, A.** (1991). "Structures of Social Life: The Four Elementary Forms of Human Relations". Free Press, New York, NY.
- FORRESTER, J.** (1961). "Industrial Dynamics". Portland (OR): Productivity Press.
- GADSBY, P.** (2002). "El chocolate en peligro". Discover en español. Sept. P. 50-57.
- GARCÍA, C.** (1985). "Cacao (*Theobroma cacao* L)". Universidad Nacional de Colombia. P. 432.
- GAVIRNENI, S.** (2006). "Price fluctuations, information sharing, and supply chain performance". European Journal of Operational Research, Vol. 174, P. 1651–1663.
- GÉNIN, P.** (2003). "Planification tactique robuste avec usage d'un APS. Proposition d'un mode de gestion par plan de référence". Thèse de Doctorat, École des Mines de Paris.
- GIANNOCCARO, I. & PONTRANDOLFO, P.** (2001). "Models for supply chains management: a taxonomy", en Proceedings of the Production and Operations Management Conference POMS mastery in the new millennium, Orlando, FL.
- GIBBONS, R.** (1992). "A Primer in Game Theory". Prentice Hall/Harvester Wheatsheaf.
- GIUNIPERO, L., HANDFIELD, R. & ELTANTAWY, R.** (2006), "Supply management's evolution: key skill sets for the supply manager of the future". International Journal of Operations & Production Management, Vol.26, No.7, P. 822-844.
- GREENBERG, H.J.** (2001). "Mathematical Programming Glossary". Disponible en: URL: <http://www.cudenver.edu/~hgreenbe/glossary/intro.html>.
- GOYAL, S., & GUPTA, Y.** (1989). "Integrated inventory models: The buyer-vendor coordination", European Journal of Operational Research, Vol.41., P.261-269.
- GUSTIN, C., DAUGHERTY, P., & STANK, T.** (1995). "The Effects of Information Availability on Logistics Integration", Journal of Business Logistics, Vol.16, N°.1, P.1-21.

- GUTIÉRREZ, E., FUGUEN, H. & ABRIL, D.** (2010). *“Planificación integrada de producción y distribución para un conglomerado industrial”*. Universidad de Antioquia.
- GUZMAN, L., RAMÍREZ, D., YIE, R., ACERO, K. UCRÓS, M., & PATERNINA, C.** (2008). *“Modelos de planificación cooperativa de recursos energéticos”*. Universidad del Norte.
- HENNET, J., & ARDA, Y.** (2008). *“Supply chain coordination: A game-theory approach”*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 21, P. 399–405.
- HUANG, Z., & LI, S.** (2001). *“Co-op advertising models in manufacturer-retailer supply chains: a game theory approach”*. European Journal of Operational Research, 135, P. 527-544.
- HUANG, Y., HUANG, G., & NEWMAN, S.** (2011). *“Coordinating pricing and inventory decisions in a multi-level supply chain: A game-theoretic approach”*. Transportation Research. Part E 47, P. 115-129.
- HUANG, Z., & LI, S.** (2001). *“Co-op advertising models in manufacturer-retailer supply chains: a game theory approach”*. European Journal of Operational Research, 135, P. 527-544.
- ICCO**, Organización Internacional del Cacao, (2005). *“Evaluación de las tendencias de la oferta y demanda mundiales”*. Comité de mercado, cuarta reunión, Guayaquil, Ecuador, marzo.
- JANEIRO, F., JURADO, G., MECA, A., & MOSQUERA, M.** (2011). *“Cooperative game theory and inventory management”*. European Journal of Operational Research, 210, P. 456 – 466.
- JOHNSTON, D., MCCUTCHEON, D., STUART, F., & KERWOOD, H.** (2004). *“Effects of supplier trust on performance of cooperative supplier relationships”*, Journal of Operations Management, Vol.22, P.23-38.
- JORGENSEN, S.** (1986). *“Optimal production, purchasing and pricing: A differential game approach”*, European Journal of Operational Research, Vol.24, P. 64-76.
- KANTER, R.** (1994). *“Collaborative Advantage”*, Harvard Business Review, No. July-August, P. 96-108.

- KEELY, L., SEBASTIÁN, J., GARCÍA, D., DOUGLAS, M. & DALE S.** (2001). *"The Supply Chain Management Processes"*. The International Journal of Logistics Management, Vol. 12, No. 2, P. 13-36.
- KEMPPAINEN, K. & VEPSÄLÄINEN, A.** (2003). *"Trends in industrial supply chains and networks"*, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol.33, N^o.8, P.701-719.
- KILGER, C., & REUTER, B.** (2002). *"Collaborative Planning. In: Stadtler, H., Kilger, C."*, Supply Chain Management and Advanced Planning, second ed. Berlin, P. 223–237.
- KOK T & MURATORE G,** (2009). *"Coordinating Supply Chains: a Bilevel Programming"*. Approach IEIS, Technische Universiteit, Eindhoven, The Netherlands April 2009
- KUHN, H., & TUCKER., W.** (1951). *"Nonlinear programming"*. Proceedings of the Second Berkeley Symposium, v. 1, P. 481-492.
- KUK, G.** (2004). Effectiveness of vendor-managed inventory in the electronics industry: determinants and outcomes. Information & Management, 41, P 645–654.
- KUMAR, K.** (2001). *"Technologies for supporting supply chain management"*. Communications of the ACM, Vol. 44, No. 6, P. 58-61.
- LAMBERT, D., MARTHA C. & JANUS D.** (1998). *"Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities"*. The International Journal of Logistics Management, Vol. 9, No. 2, P. 2.
- LARIO F., & PÉREZ D.,** (2005). *"Gestión de Redes de Suministro (GRdS): sus Tipologías y Clasificaciones. Modelos de Referencia Conceptuales y Analíticos"*. IX Congreso de ingeniería de organización. Gijón, 8 y 9 de septiembre de 2005.
- LEE H. & BILLINGTON C.** (1993). *"Material Management in Decentralized Supply Chains"*. Operations Research, 41 (5), P. 835-847.
- LEJEUNE, M. & YAKOVA, N.** (2005). *"On characterizing the 4C's in supply chain management"*. Journal of Operations Management, Vol.23, P. 81-100.

- LENG, M., & PARLAR, M.** (2009). *“Allocation of Cost Savings in a Three-Level Supply Chain with Demand Information Sharing: A Cooperative-Game Approach”*. *Operations Research*, 57 (1), P. 200–213.
- LENG, M., & PARLAR, M.** (2010). *“Game-theoretic analyses of decentralized assembly supply chains: Non-cooperative equilibrium vs. coordination with cost-sharing contracts”*. *European Journal of Operational Research*, 204, P. 96–104.
- LI, J., WANG, S., & CHENG, T.** (2010). *“Competition and cooperation in a single-retailer two-supplier supply chain with supply disruption”*. *Int. J. Production Economics* 124, P. 137-150.
- LUKA, Z., HUNJET, D. & NERALI, L.** (2008). *“Solving the production transportation problem in the petroleum industry”*. *Investigación operacional*, 29(1).
- MCKAIGE, W.** (2001). Source: IIE Solutions, Vol. 33, P. 34-38
- MADR** (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural), (2006). *“Agendas de investigación, innovación y desarrollo tecnológico del sector agropecuario”, avance 2003-2005, Bogotá. <http://www.minagricultura.gov.co/>*
- MIN, S. & MENTZER, J.** (2000). *“The role of marketing in supply chain management”*. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol.30, N°.9, P. 765-787.
- MIN, S., ROATH, A., DAUGHERTY P., GENCHEV S., CHEN H., ARNDT A., & RICHEY G.** (2005). *“Supply chain collaboration: what’s happening?”*. *International Journal of Logistics Management*, Vol. 16, No. 2, P. 237–256.
- MIN, H. & ZHOU, G.,** (2002). *“Supply chain modeling: past, present and future”*, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 43, no. 1-2, P. 231-249.
- MOBERG, CH., CUTLER, B., GROSS, A., & SPEH, T.** (2002). *“Identifying Antecedentes of Information Exchange in Supply Chains”*, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol.32, N°.9, P. 755-770.
- MONSALVE, S., & ARÉVALO, J.** (2005). *“Teoría de juegos clásica”*. Bogotá : Universidad Externado de Colombia. P. 273-280.
- MOJICA, A. & PAREDES, J.** (2006). *“Características del cultivo de cacao en Santander”*. *Ensayos sobre economía regional*. Banco de la República, Colombia. P. 38.

- MURILLO, F.** (1999). "Los Modelos Jerárquicos Lineales aplicados a la Investigación sobre Eficacia Escolar". *Revista de Investigación Educativa*, P. 453-460.
- NAGARAJAN, M., & SOSIC, G.** (2008). "Game-theoretic analysis of cooperation among supply chain agents: Review and extensions". *European Journal of Operational Research*, 187, P. 719–745.
- NASH, J.** (1950). "The bargaining problem. *Econometrica*", 18: P.155-162.
- ORTIZ, A., LARIO, F., ROS, L., & HAWA, M.** (1999). "Building a production planning process with an approach based on CIMOSA and workflow management systems", *Computers in Industry*, vol. 40, nº. 2-3, P. 207-219.
- ORTIZ, A., POLER, R., LARIO, F. C., & VICENS, E.** (1999). "Situación y líneas de investigación futuras en integración empresarial, *Información Tecnológica*", vol. 10, nº. 4.
- OWEN, G.** (1995). "Game Theory". San Diego: Academic press, 3rd Edition ed.).P. 447.
- POIREL C. & BONET D.** (2006). "La chaîne logistique, un cadre conceptuel alternatif au canal de distribution pour analyser les rapports de pouvoir et de dépendance entre acteurs". Dans *Les chaînes logistiques multi-acteurs*, ouvrage coordonné par G. Paché et A. Spalanzani, P.U.G.
- POSADA, M., PINEDA, V., & CORREAL, A.** (2001). "El Chocolate y Salud Cardiovascular". En: *Perspectivas en la nutrición humana No 4*, mayo de 2001. Academia de Nutrición y Dietética de la Universidad de Antioquia.
- RENNA, P., & ARGONETO, P.** (2011). "Capacity sharing in a network of independent factories: A cooperative game theory approach". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 27, P. 405-417.
- REN, Z., COHEN, M., HO, T., & TERWIESCH, C.** (2010). "Information Sharing in a Long-Term Supply Chain Relationship: The Role of Customer Review Strategy". *Operations Research*, 58 (1), P. 81–93.
- REY, M.** (2001). "Supply Chain Collaboration". *Transport & Logistics, Business Briefing: Global Purchasing and Supply Chain Networks*. P. 40-42

- ROA, S.** (2006). *“Análisis de la estructura de comercio del cacao, subproductos y derivados en el mercado internacional”*. Bogotá D.C.
- ROHDE, J., MEYR, H. & WAGNER, M.** (2000). *“Die supply chain planning matrix”*. *PPS Management*, 5: P. 10–15.
- ROHDE, J. & WAGNER, M.** (2002). *“Master Planning. In: Stadler, H., Kilger, C. (Eds.)”*, Supply Chain Management and Advanced Planning, second ed. Berlin, P. 143– 160.
- ROSENTHAL, E.** (2008). *“A game-theoretic approach to transfer pricing in a vertically integrated supply chain”*. *International Journal of Production Economics*, 115, P. 542–552.
- ROSS, J.** (2009). *“Strategy Execution and the Role of the CIO”*, CISR, MIT Sloan School of Management
- RYU, J., DUA, V. & PISTIKOPOUOS, E.** (2004). *“A bilevel programming framework for enterprise-wide process networks under uncertainty”*. *Computers & Chemical Engineering*, 28(6-7), P. 1121-1129.
- RYU, S., TSUKISHIMA, T., & ONARI, H.** (2009). *“A study on evaluation of demand information-sharing methods in supply chain”*. *International Journal of Production Economics*, Vol. 120 No 1, P. 162-175.
- SAHAY, B.** (2003). *“Supply Chain Collaboration: The Key to Value Creation”*. *Supply Chain Management: An International Journal*. Vol. 52, No. 2, P. 76-83.
- SEPULVEDA, J., & FREIN, Y.** (2008). *“Coordination and demand uncertainty in supply chain”*. *Production Planning and Control*. Vol. 19, No. 7, P. 712-721.
- SHAPLEY, L.** (1953); *“A value for n-person games”* in Kuhn, W., Tucker, W., editors, *“Contributions to the Theory of Games II”*, Princeton University Press, Princeton, P. 307-317.
- SARMAH, S., ACHARYA, D., & GOYAL, S.** (2006). *“Buyer vendor coordination models in supply chain management”*. *European Journal of Operational Research*, 175, P. 1–15.
- SHEHORY, O., & KRAUS, S.** (1993). *“Coalition formation among autonomous agents: Strategies and complexity”*. university Ramt Gan- Israel

- SHEHORY, O., & KRAUS S.** (1999). *“Feasible formation of coalitions among autonomous agents in non super additive environments,”* in proceedings of AAI-99.
- SIMATUPANG, T. & SRIDHARAN, R.** (2002). *“The collaborative supply chain”*. International Journal of Logistics Management. Vol. 13, No. 1, P. 15-30.
- SIMATUPANG, T., & SRIDHARAN R.** (2005), *“An integrative framework for supply chain collaboration”*. The International Journal of Logistics Management, Vol.16,No.2, P. 257-274.
- SONGINI, M.** (2002).*“Collaborative planning still eyed with caution”*. Computerworld, <http://computerworld.com/>
- SOOSAY, C., HYLAND, P., & FERRER, M.** (2008) *“Supply chain collaboration: capabilities for continuous innovation”*, Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 13 Iss: 2, P.160 - 169
- STADLER, H., & KILGER, C.** (2000). *“Supply Chain Management and Advanced Planning”*. Springer, Berlin.
- STADTLER, H., & KILGER, C.** (2002). *“Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software and Case Studies. Berlin”*.
- STADTLER, H.** (2005). *“Supply chain management and advanced planning – basics, overview and challenges”*. European Journal of Operational Research. Vol. 163, P. 575-588.
- STADLER, H. & KILGER, C.** (2008). *“Supply Chain Management an overview in Supply Chain Management and Advanced Planning”* (Stadler, H., Kilger, C. Editors). Springer-Verlag.
- STACKELBERG, H.** (1952), *“Marktform und Gleichgewicht”*, Springer-Verlag, Berlin, 1934. *“The Theory of the arket Economy”*, Oxford University Press.
- STANK, T., KELLER, S., & DAUGHERTY, P.** (2001). *“Supply chain collaboration and logistical service performance”*, Journal of Business Logistics, Vol.22, N^o.1, P. 29-48.
- STEVENS, G.** (1989). *“Integrating the Supply Chain”*. International Journal of Physical Distribution & Materials Management, 19, P. 3-8.
- STEWART, I., & FENN, P.** (2006); *“Strategy: the motivation for innovation”*, Construction Innovation, Vol.6, P.173-185.

- SUN, L., & MA, Y.** (2010). *“On cooperation and competition between upstream and downstream companies in supply chain”*. Logistics Systems and Intelligent Management, International Conference on Volume: 3 P. 1513 – 1517
- VALLE, R.** (2007). *“Ciencia, tecnologia e manejo do cacauero”*. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC. Brasil.
- VERWAAL, E., & HESSELMANS, M.** (2004). *“Drivers of supply network governance: an explorative study of the Dutch chemical industry”*. European Management Journal, Vol. 22, No. 4, P. 442–451.
- VICS,** (2004). *“Voluntary Interindustry Commerce Standards Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR)”*. URL (14/07/06): http://www.vics.org/standards/CPFR_Overview_US-A4.pdf
- VIDAL, C., & GOETSCHALCKX, M.** (1997). *“Strategic production-distribution models: a critical review with emphasis on global supply chain models”*. European Journal of Operational Research, Vol. 98, P. 1-18.
- WANG, Q., & PARLAR, M.** (1989). *“Static game theory models and their applications in management science”*, European Journal of Operational Research, Vol.42, P. 1-21.
- WANG, H., GUO, M., & EFSTATHIOU, J.** (2004). *“A game-theoretical cooperative mechanism design for a two-echelon decentralized supply chain”*. European Journal of Operational Research, 157, P. 372–388.
- WEILL, P.** (2007). *“Innovating with Information Systems: What do the most agile firms in the world do?”*, CISR, MIT Sloan School of Management (Instituto de Tecnologia de Massachusetts)
- WOO, K. & ENNEW, C.** (2004). *“Business-to-business relationship quality: An IMP interaction-based conceptualization and measurement”*. European Journal of Marketing, Vol.38, No.9/10, P. 1252-1271.
- XIAOFEN, J., WEI, C., LEI, H., FEI, Z., & SHUFANG, L.** (2011). *“Research on Distribution Mechanism of Supply Chain Risk Based on Cooperative Games”*.
- XIAO, T., & QI, X.** (2008). *“Price competition, cost and demand disruptions and coordination of a supply chain with one manufacturer and two competing retailers”*. Omega, 36, P. 741 – 753.

- XIE, J., & NEYRET, A.** (2009). *“Co-op advertising and pricing models in manufacturer–retailer supply chains”*. Computers & Industrial Engineering, 56, P. 1375–1385
- XU, X., PAN S., & BALLOT, E.** (2012). *“Allocation of Transportation Cost & CO₂ Emission in Pooled Supply Chains Using Cooperative Game Theory”*, published in "INCOM 2012, Bucharest : Romania.
- YANG J.** (2012). *“Analysis on Bi-level Programming Model in Supply Chain Distribution Problem”*, Fifth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation
- YI, C.** (2009). *“Using Modified Shapley Value to Determine Revenue Allocation within Supply Chain”*. International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, 1/09 2009 IEEE
- ZHANG, X., & HUANG, G.** (2010). *“Game-theoretic approach to simultaneous configuration of platform products and supply chains with one manufacturing firm and multiple cooperative suppliers”*. Int. J. Production Economics, 124, P. 121-136.
- ZHAO, Y., WANG, S., CHENG, T., YANG, X., & HUANG, Z.** (2010). *“Coordination of supply chains by option contracts: A cooperative game theory approach”*. European Journal of Operational Research, 207, P. 668-675.
- ZHENG, Y., ZHANG, S., CHEN, X. & LIU, F.** (2011). *“Application of Modified Shapley Value in Gains Allocation of Closed-loop Supply Chain under”*. Third-Party Reclaim Energy Procedia 5, P. 980–984

ANEXO 1.

Parámetros del caso de aplicación para el modelado de Programación Binivel y Valor de Shapley

Productor	Costo de Producción Anual (CQP _i)	Productor	Costo de Producción Anual (CQP _i)	Productor	Costo de Producción Anual
P1	3700000	P42	3710000	P83	3620000
P2	3720000	P43	3780000	P84	3670000
P3	3650000	P44	3660000	P85	3600000
P4	3740000	P45	3600000	P86	3730000
P5	3740000	P46	3700000	P87	3640000
P6	3720000	P47	3730000	P88	3750000
P7	3700000	P48	3610000	P89	3630000
P8	3610000	P49	3700000	P90	3680000
P9	3690000	P50	3740000	P91	3710000
P10	3650000	P51	3650000	P92	3770000
P11	3700000	P52	3800000	P93	3790000
P12	3760000	P53	3620000	P94	3700000
P13	3610000	P54	3790000	P95	3700000
P14	3720000	P55	3690000	P96	3600000
P15	3750000	P56	3730000	P97	3660000
P16	3600000	P57	3740000	P98	3800000
P17	3690000	P58	3660000	P99	3790000
P18	3710000	P59	3610000	P100	3790000
P19	3650000	P60	3720000	P101	3700000
P20	3730000	P61	3780000	P102	3720000
P21	3720000	P62	3620000	P103	3800000
P22	3720000	P63	3640000	P104	3600000
P23	3710000	P64	3700000	P105	3620000
P24	3710000	P65	3690000	P106	3700000
P25	3790000	P66	3750000	P107	3690000
P26	3740000	P67	3610000	P108	3760000
P27	3680000	P68	3650000	P109	3790000
P28	3610000	P69	3730000	P110	3800000
P29	3690000	P70	3710000	P111	3710000
P30	3730000	P71	3600000	P112	3670000
P31	3620000	P72	3620000	P113	3780000
P32	3640000	P73	3790000	P114	3760000
P33	3790000	P74	3770000	P115	3710000
P34	3610000	P75	3630000	P116	3780000

P35	3650000	P76	3600000	P117	3720000
P36	3790000	P77	3660000	P118	3740000
P37	3620000	P78	3780000	P119	3650000
P38	3640000	P79	3610000	P120	3660000
P39	3800000	P80	3660000	P121	3790000
P40	3680000	P81	3600000	P122	3680000
P41	3790000	P82	3770000	P123	3790000

P124	3690000	P165	3630000	P206	3600000
P125	3780000	P166	3770000	P207	3600000
P126	3780000	P167	3660000	P208	3640000
P127	3770000	P168	3700000	P209	3670000
P128	3700000	P169	3700000	P210	3700000
P129	3610000	P170	3620000	P211	3670000
P130	3600000	P171	3690000	P212	3640000
P131	3650000	P172	3700000	P213	3670000
P132	3760000	P173	3720000	P214	3650000
P133	3680000	P174	3710000	P215	3630000
P134	3640000	P175	3610000	P216	3790000
P135	3790000	P176	3620000	P217	3750000
P136	3790000	P177	3610000	P218	3650000
P137	3600000	P178	3710000	P219	3610000
P138	3780000	P179	3730000	P220	3750000
P139	3740000	P180	3660000	P221	3600000
P140	3700000	P181	3620000	P222	3710000
P141	3710000	P182	3690000	P223	3670000
P142	3670000	P183	3600000	P224	3600000
P143	3700000	P184	3620000	P225	3770000
P144	3720000	P185	3640000	P226	3730000
P145	3680000	P186	3600000	P227	3620000
P146	3700000	P187	3760000	P228	3660000
P147	3730000	P188	3640000	P229	3710000
P148	3690000	P189	3690000	P230	3600000
P149	3700000	P190	3640000	P231	3750000
P150	3740000	P191	3750000	P232	3740000
P151	3750000	P192	3640000	P233	3750000
P152	3690000	P193	3720000	P234	3710000
P153	3650000	P194	3790000	P235	3640000
P154	3700000	P195	3610000	P236	3650000
P155	3650000	P196	3740000	P237	3630000
P156	3730000	P197	3740000	P238	3660000
P157	3680000	P198	3670000	P239	3680000

P158	3690000	P199	3640000	P240	3790000
P159	3660000	P200	3670000	P241	3750000
P160	3800000	P201	3610000	P242	3690000
P161	3700000	P202	3610000	P243	3720000
P162	3600000	P203	3680000	P244	3780000
P163	3690000	P204	3660000	P245	3800000
P164	3660000	P205	3750000	P246	3610000

Productor	Capacidad de Producción Toneladas (CAPPi)	Productor	Capacidad de Producción Toneladas (CAPPi)	Productor	Capacidad de Producción Toneladas (CAPPi)
P1	2	P42	1	P83	2
P2	2	P43	2	P84	4
P3	2	P44	4	P85	1
P4	3	P45	2	P86	1
P5	2	P46	2	P87	1
P6	2	P47	4	P88	1
P7	2	P48	2	P89	1
P8	2	P49	2	P90	2
P9	2	P50	1	P91	2
P10	2	P51	2	P92	2
P11	2	P52	1	P93	2
P12	2	P53	1	P94	2
P13	2	P54	3	P95	2
P14	2	P55	2	P96	2
P15	2	P56	3	P97	2
P16	2	P57	2	P98	2
P17	2	P58	1	P99	1
P18	2	P59	2	P100	1
P19	2	P60	2	P101	1
P20	1	P61	3	P102	2
P21	1	P62	1	P103	1
P22	1	P63	2	P104	6
P23	2	P64	1	P105	2
P24	2	P65	1	P106	3
P25	2	P66	1	P107	3
P26	7	P67	1	P108	1
P27	2	P68	1	P109	1
P28	1	P69	2	P110	1
P29	1	P70	2	P111	1
P30	1	P71	1	P112	2

P31	2	P72	1	P113	2
P32	1	P73	1	P114	2
P33	1	P74	1	P115	2
P34	1	P75	1	P116	3
P35	1	P76	2	P117	1
P36	1	P77	3	P118	2
P37	2	P78	3	P119	2
P38	3	P79	2	P120	2
P39	1	P80	1	P121	2
P40	2	P81	1	P122	2
P41	1	P82	1	P123	2

P124	2	P165	2	P206	2
P125	2	P166	2	P207	2
P126	2	P167	2	P208	2
P127	1	P168	2	P209	2
P128	3	P169	2	P210	2
P129	1	P170	2	P211	2
P130	1	P171	2	P212	2
P131	7	P172	2	P213	1
P132	2	P173	2	P214	2
P133	1	P174	2	P215	2
P134	1	P175	2	P216	2
P135	1	P176	2	P217	2
P136	2	P177	2	P218	1
P137	2	P178	2	P219	1
P138	2	P179	1	P220	1
P139	2	P180	2	P221	1
P140	2	P181	2	P222	2
P141	2	P182	2	P223	1
P142	2	P183	2	P224	4
P143	2	P184	2	P225	1
P144	2	P185	2	P226	2
P145	2	P186	2	P227	2
P146	2	P187	2	P228	2
P147	2	P188	2	P229	2
P148	2	P189	2	P230	2
P149	2	P190	2	P231	2
P150	1	P191	3	P232	2
P151	2	P192	2	P233	2
P152	2	P193	3	P234	2
P153	1	P194	2	P235	2

P154	2	P195	2	P236	2
P155	2	P196	3	P237	2
P156	3	P197	2	P238	2
P157	2	P198	2	P239	2
P158	1	P199	2	P240	2
P159	1	P200	3	P241	2
P160	1	P201	3	P242	2
P161	1	P202	2	P243	2
P162	2	P203	2	P244	2
P163	2	P204	4	P245	2
P164	2	P205	2	P246	2

Productor	Costo de Transporte Toneladas <i>CQTPCA_{ij}</i>	Productor	Costo de Transporte Toneladas <i>CQTPCA_{ij}</i>	Productor	Costo de Transporte Toneladas <i>CQTPCA_{ij}</i>
P1	120000	P42	120000	P83	160000
P2	120000	P43	80000	P84	160000
P3	120000	P44	80000	P85	160000
P4	80000	P45	80000	P86	160000
P5	160000	P46	80000	P87	160000
P6	160000	P47	80000	P88	160000
P7	160000	P48	160000	P89	160000
P8	160000	P49	160000	P90	160000
P9	160000	P50	160000	P91	160000
P10	160000	P51	160000	P92	160000
P11	160000	P52	160000	P93	160000
P12	160000	P53	160000	P94	120000
P13	80000	P54	160000	P95	120000
P14	80000	P55	160000	P96	120000
P15	80000	P56	160000	P97	120000
P16	40000	P57	160000	P98	120000
P17	40000	P58	160000	P99	120000
P18	40000	P59	160000	P100	120000
P19	40000	P60	160000	P101	120000
P20	120000	P61	160000	P102	120000
P21	160000	P62	160000	P103	120000
P22	120000	P63	160000	P104	120000
P23	120000	P64	160000	P105	120000
P24	120000	P65	160000	P106	120000
P25	8000	P66	160000	P107	120000
P26	8000	P67	160000	P108	120000
P27	8000	P68	160000	P109	120000


P28	8000	P69	160000	P110	120000
P29	8000	P70	160000	P111	120000
P30	8000	P71	160000	P112	120000
P31	40000	P72	160000	P113	120000
P32	40000	P73	160000	P114	120000
P33	40000	P74	160000	P115	120000
P34	40000	P75	160000	P116	120000
P35	120000	P76	160000	P117	120000
P36	120000	P77	160000	P118	120000
P37	8000	P78	160000	P119	120000
P38	120000	P79	160000	P120	120000
P39	120000	P80	160000	P121	120000
P40	120000	P81	160000	P122	120000
P41	120000	P82	160000	P123	120000

P124	120000	P165	40000	P206	120000
P125	120000	P166	40000	P207	120000
P126	120000	P167	40000	P208	120000
P127	120000	P168	80000	P209	120000
P128	120000	P169	40000	P210	120000
P129	120000	P170	40000	P211	120000
P130	120000	P171	40000	P212	120000
P131	120000	P172	40000	P213	120000
P132	120000	P173	40000	P214	160000
P133	120000	P174	80000	P215	120000
P134	120000	P175	80000	P216	160000
P135	120000	P176	80000	P217	160000
P136	120000	P177	80000	P218	160000
P137	120000	P178	80000	P219	160000
P138	120000	P179	80000	P220	160000
P139	120000	P180	80000	P221	160000
P140	120000	P181	80000	P222	160000
P141	120000	P182	80000	P223	160000
P142	120000	P183	80000	P224	160000
P143	120000	P184	80000	P225	120000
P144	120000	P185	80000	P226	120000
P145	120000	P186	80000	P227	80000
P146	120000	P187	80000	P228	80000
P147	120000	P188	80000	P229	80000
P148	40000	P189	80000	P230	80000
P149	40000	P190	160000	P231	80000
P150	40000	P191	160000	P232	80000

P151	40000	P192	160000	P233	120000
P152	40000	P193	40000	P234	80000
P153	40000	P194	40000	P235	80000
P154	40000	P195	160000	P236	80000
P155	40000	P196	160000	P237	120000
P156	40000	P197	80000	P238	120000
P157	40000	P198	80000	P239	120000
P158	40000	P199	80000	P240	120000
P159	40000	P200	160000	P241	120000
P160	40000	P201	160000	P242	120000
P161	40000	P202	120000	P243	120000
P162	40000	P203	120000	P244	120000
P163	40000	P204	120000	P245	40000
P164	40000	P205	120000	P246	40000

ANEXO 2.

Certificados de colaboradores y evidencias de visitas para la validación de datos con APROCASUR

 APROCASUR ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE CACAO		"El cacao es el medio, el fin es la gente"	
ASOCIACION DE PRODUCTORES DE CACAO APROCASUR	CERTIFICACIONES LABORALES AREA ADMINISTRATIVA	Version:	FORMATO- 10
		Fecha Aprobación:	01-01-2011
		Página:	22 de 1


CERTIFICACION LABORAL
No 019-012

La ASOCIACION DE PRODUCTORES DE CACAO APROCASUR
NIT: 829.004.199-2


CERTIFICA

Que **ORLANDO VARGAS ACOSTA** identificado con cédula de ciudadanía No 7.924.662, labora para esta organización en el cargo de **COORDINADOR DE PROYECTOS**, en el marco del convenio celebrado entre Aprocasur y CHF en la región de Montes de María, desde el primero (1) de junio de 2011, con vinculación de contrato a término fijo firmado a 31 de Agosto de 2012; devengando un último salario mensual de DOS MILLONES CUATROCIENTOS MIL PESOS (\$2.400.000) M/CTE.

La presente se expide a solicitud del interesado a los Treinta (30) días del mes de Agosto de 2012.


MIGUEL ANGEL VARGAS CARO
C.C. 7.925.483
Representante Legal
Aprocasur

Santa Rosa del Sur, Bolívar Cra 11 No. 10-27 Tel. (095) 569 7655, 311 8047002. Carmen de Bolívar Calle 23 No 51-38 Cel: 321 2002770. San Pablo, Bolívar Calle 16 No. 13 Tel. 320 2455984. Aguachica, Cesar. Cra 10ª No. 6-30 Tel. (095) 565 7655, 320 2722190- Mail: contacto@aprocasur.com - aprocasur@hotmail.com
Pagina Web: www.aprocasur.com

Construye
tu marca de éxito

Emprender Paz



APROCASUR
ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE CACAO

**"El cacao es el medio,
el fin es la gente"**

ASOCIACION DE PRODUCTORES DE CACAO APROCASUR	CERTIFICACIONES LABORALES AREA ADMINISTRATIVA	Versión:	FORMATO-10
		Fecha Aprobación:	01-01-2011
		Página:	25 de 1

CERTIFICACION LABORAL
No 022-012

La ASOCIACION DE PRODUCTORES DE CACAO APROCASUR
NIT: 829.004.199-2

CERTIFICA

Que **JOSE FABIAN VARGAS ACOSTA** identificado con cedula de ciudadanía No 1.065.865.799, laboro para esta organización en los siguientes cargos: como **EXTENSIONISTA DE CAMPO**, en el periodo comprendido desde el 4 de agosto de 2008 hasta el 31 de diciembre de 2010; en el cual desarrollo labores de asistencia técnica a productores de cacao, capacitación social y ambiental mediante la modalidad de ECAS. Y como **AUXILIAR DEL AREA DE COMUNICACIONES**, en el periodo comprendido desde el primero (01) de enero hasta el 15 de diciembre de 2011; Desarrollando labores de apoyo en la grabación de videos y emisión del programa radial "sembrando Futuro".

La presente se expide a solicitud del interesado a los diez (10) días del mes de Septiembre de 2012.


MIGUEL ANGEL VARGAS CARO
C.C. 7.925.483
Representante Legal
Aprocasur

Santa Rosa del Sur, Bolívar Cra 11 No. 10-27 Tel. (095) 569 7655, 311 8047002. Carmen de Bolívar Calle 23 No 51-38 Cel: 321 2002770. San Pablo, Bolívar Calle 16 No. 13 Tel. 320 2455984. Aguachica, Cesar. Cra 10ª No. 6-30 Tel. (095) 565 7655, 320 2722190- Mail: contacto@aprocasur.com - aprocasur@hotmail.com
Página Web: www.aprocasur.com



Visita a la Oficina de APROCASUR – Carmen de Bolívar



Costos de Insumos, herramientas y otros costos Directos

<i>Insumos</i>								
Injertos de cacao	Vr. Unidad	1.600	1.100	1.760.000	0	0	0	0
Material de Reposición	Vr. Unidad	1.600	100	160.000	0	0	0	0
Platano	Vr. Colino	1.000	550	550.000	0	0	0	0
Arboles maderables	Vr. Unidad	700	135	94.500	0	0	0	0
Insecticida Tiocyclam Hidrogenoxalato	Vr. Bolsa de 100 gr.	19.500	2	39.000	2	39.000	2	39.000
Fungicida Carbendazim	Vr. Litro	38.500	1	38.500	1	38.500	1	38.500
Soluagro	kg	6.000	1	6.000	1	6.000	1	6.000
Cal dolomita correctivo	bulto	13.000	0	0	0	0	0	0
Abono Orgánico	bulto	13.500	20	270.000	20	270.000	20	270.000
Urea 40%	bulto	60.000	1	60.000	1	60.000	2	120.000
12%+24%+12%+2% (Rafos)	Vr. Buolto 50 kilos	80.000	2	160.000	2	160.000	4	320.000
Micorrizas	Vr.bulto	29.000	1	29.000	0	0	0	0
Subtotal insumos				3.167.000		573.500		793.500
Herramientas								
Tijeras podadoras manual	Vr. Unidad	60000	1	60.000	0	0	0	0
Subtotal Herramientas				60.000		0		0
Otros Directos								
Transporte material vegetal vivero Finca	Vr. Planta	500	1.100	550.000		0	0	0
Transporte material Reposición	Vr. Planta	500	100	50.000	0	0	0	0
Transporte insumos a cabecera	Vr. Kilo	100	1.500	150.000	0	0	0	0
Transporte Insumos Cabecera a Finca	Vr. Kilo	120	1.500	180.000	0	0	0	0
Asistencia Técnica		420.000	1,0	420.000	1,0	420.000	1,0	420.000
Análisis de suelos completo	Vr. Unidad	80.000	1,0	80.000	0,0	0	0,0	0
Subtotal otros				1.430.000		420.000		420.000

ANEXO 3.

Programación en Software Wx Máxima para calculo de Gradientes

Información del sistema

wxWidgets: 2.8.12
 Soporte Unicode: no
 Versión de Maxima: 5.28.0-2
 Lisp: GNU Common Lisp (GCL) GCL 2.6.8 (a.k.a. GCL)

□ Calculo de Función Lagrangeana

Figura 1: Funcion Lagrangeana

$$\begin{aligned}
 \text{Para } \nabla f_i(x) + \sum_{t=1}^T U_t \nabla g_t(x) &= 0 \\
 \nabla f_i(x) + U_{t_j} * \nabla \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r QRPCCA_{ijk} - CAPCA_j \right) + U_{t_k} \\
 * \nabla \left(\sum_{i=1}^n QRPCCA_{ijk} - \sum_{l=1}^q QVCAMC_{jlk} \right) + U_{t_i} * \nabla (QP_i - CAPP_i) + U_{t_i} \\
 * \nabla \left(QP_i - \sum_{j=1}^m QTPCA_{ij} \right) + U_{t_{ij}} * \nabla \left(QTPCA_{ij} - \sum_{k=1}^r QRPCCA_{ijk} \right) &= 0
 \end{aligned}$$

Calculo del Gradiente de la Funcion teniendo en cuenta las Variables de Decisión del Seguidor

```

(%i37) F: (PCCA[j,k]*QRPCCA[i,j,k])-(CQP[i]*QP[i])-(CQTPCA[i,j]*QTPCA[i,j])+
(U2*(QRPCCA[i,j,k]-CAPCA[j]))+(U3*(QRPCCA[i,j,k]-QVCAMC[j,l,k]))+
(U5*(QP[i]-CAPP[i]))+(U6*(QP[i]-QTPCA[i,j]))+(U7*(QTPCA[i,j]-QRPCCA[i,j,k]));
(%o37) (QTPCA_{i,j}-QRPCCA_{i,j,k})U7+(QP_i-QTPCA_{i,j})U6+(QP_i-CAPP_i)U5+(QRPCCA_{i,j,k}-QVCAMC_{j,l,k})U3+(QRPCCA_{i,j,k}-CAPCA_j)U2+
QRPCCA_{i,j,k}PCCA_{j,k}-CQTPCA_{i,j}QTPCA_{i,j}-CQP_iQP_i

(%i38) Grad: diff((F),QRPCCA[i,j,k],1);
Grad: diff((F),QP[i],1);
Grad: diff((F),QTPCA[i,j],1);
(%o38) -U7-U3+U2+PCCA_{j,k}
(%o39) U6+U5-CQP_i
(%o40) U7-U6-CQTPCA_{i,j}
  
```

ANEXO 4.

Programación en GAMS Modelo Económico Binivel (Primera Instancia)

SET

* Conjuntos

i Productores /P1*P246/

j Centros de Acopio /C1,C2/

k Tipo de Productos /T1,T2,T3/

l Mercado /M1,M2/;

* Definición de los Parámetros del Modelo

Parameter CQP(i) Costo de Producir por el productor i

CQP(i) /

\$include "C:\Users\utb\Desktop\Modelo original\a.txt"

/;

Table CQTPCA(i,j) Costo por tonelada de cacao transportado desde el productor i hasta el centro de acopio j

Table PCCA(j,k) Precio de tonelada de cacao en el centro de acopio j para el tipo k

	T1	T2	T3
C1	2000000	4000000	4500000
C2	1000000	3500000	4000000 ;

Table PQCM(l,k) Precio de tonelada de cacao del mercado l para el tipo k

	T1	T2	T3
M1	3000000	5000000	5500000
M2	2000000	4500000	5000000 ;

Table CQVCAMC(j,l) Costo de operación y envío de una tonelada de cacao en el centro de acopio j al mercado l

	M1	M2
C1	80000	0
C2	0	40000 ;

Parameter CAPP(i) Capacidad del productor i

CAPP(i) /

\$include "C:\Users\utb\Desktop\Modelo original\b.txt"

/;

Parameter CAPCA(j) Capacidad del centro de acopio j

/

C1 1200

C2 50/;

Table DEMMER(l,k) Demanda del mercado l del tipo de cacao k

	T1	T2	T3
M1	120	480	600
M2	5	20	25 ;

* Definicion de las Variables del Modelo

Variables

QP(i) Toneladas producidas de cacao por el productor i

QTPCA(i,j) Toneladas de cacao transportadas desde el productor i hasta el centro de acopio j

QRPCCA(i,j,k) Toneladas de cacao recibidas desde el productor i en el centro de acopio j del tipo k

QVCAMC(j,l,k) Toneladas de cacao vendidas por el centro de acopio j al mercado l del tipo k

Zca Funcion Objetivo del Lider

Zpd Funcion Objetivo del Seguidor;

* Definicion del Tipo de Variable

Positive variable QP;

Positive variable QTPCA;

Positive variable QRPCCA;

Positive variable QVCAMC;

* Definicion de las Ecuaciones

Equations

R1(j,l,k) Restricción de Demanda

R2(j) Restricción de Capacidad del Líder

R3(j,k) Restricción de Equilibrio del Líder

R4(j) Restricción de Seguridad de no perdidas

R5(i) Restricción de Capacidad del seguidor

R6(i) Restricción de Equilibrio del seguidor

R7(i,j) Restricción de Equilibrio de transporte del seguidor

F1max Función objetivo del Líder

F2max Función objetivo del Seguidor;

*Funciones Objetivo a Maximizar

F1max.. Zca =e= $\sum((j,l,k),PQCM(l,k)*QVCAMC(j,l,k))-$
 $\sum((j,l,k),CQVCAMC(j,l)*QVCAMC(j,l,k))-$
 $\sum((i,j,k),PCCA(j,k)*QRPCCA(i,j,k));$

F2max.. Zpd =e= $\sum((i,j,k),PCCA(j,k)*QRPCCA(i,j,k))-$
 $\sum(i,CQP(i)*QP(i))-$
 $\sum((i,j),CQTPCA(i,j)*QTPCA(i,j));$

*RESTRICCIÓN DE DEMANDA

R1(j,l,k).. $QVCAMC(j,l,k) =l= DEMMER(l,k);$

*RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD LIDER

R2(j).. $\sum((i,k),QRPCCA(i,j,k)) =l= CAPCA(j);$

*RESTRICCIÓN DE EQUILIBRIO LIDER

R3(j,k).. $\sum(i,QRPCCA(i,j,k)) =e= \sum(l,QVCAMC(j,l,k));$

*RESTRICCIÓN DE SEGURIDAD DE NO PERDIDAS

R4(j).. $\sum((l,k),PQCM(l,k)*QVCAMC(j,l,k))- \sum((i,k),PCCA(j,k)*QRPCCA(i,j,k))$
 $=g= 0;$

*RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD DEL SEGUIDOR

R5(i).. $QP(i) =l= CAPP(i);$

*RESTRICCIÓN DE EQUILIBRIO SEGUIDOR

R6(i).. $QP(i) =e= \sum(j,QTPCA(i,j));$

*RESTRICCIÓN DE EQUILIBRIO DE TRANSPORTE SEGUIDOR

R7(i,j).. $QTPCA(i,j) =e= \sum(k,QRPCCA(i,j,k));$

MODEL Model1 /F1max,R1,R2,R3,R4/;

MODEL Model2 /F2max,R2,R3,R5,R6,R7/;

OPTION NLP = CONOPT;

OPTION ITERLIM=300000;

OPTION RESLIM=100000;

OPTION subsystems;

OPTION optca=0;

OPTION optcr=0.01;

SOLVE model1 using NLP maximizing Zca;

SOLVE model2 using NLP maximizing Zpd;

DISPLAY

QP.L

QTPCA.L

QRPCCA.L

QVCAMC.L

Zca.L

Zpd.L

Programación en GAMS Modelo Económico Binivel (Segunda Instancia)

*Definicion de las Variables del Modelo

Variables

QP(i)	Toneladas producidas de cacao por el productor i
QTPCA(i,j)	Toneladas de cacao transportadas desde el productor i hasta el centro de acopio j
QRPCCA(i,j,k)	Toneladas de cacao recibidas desde el productor i en el centro de acopio j del tipo k
QVCAMC(j,l,k)	Toneladas de cacao vendidas por el centro de acopio j al mercado l del tipo k
U1(j,l,k)	Multiplicador Lagrange para restricción 1
U2(j)	Multiplicador Lagrange para restricción 2
U3(j,k)	Multiplicador Lagrange para restricción 3
U4(j)	Multiplicador Lagrange para restricción 4
U5(i)	Multiplicador Lagrange para restricción 5
U6(i)	Multiplicador Lagrange para restricción 6
U7(i,j)	Multiplicador Lagrange para restricción 7
Zca	Funcion Objetivo del Lider;

* Definicion del Tipo de Variable

Positive variable QP;
Positive variable QTPCA;
Positive variable QRPCCA;
Positive variable QVCAMC;
Positive variable U1;
Positive variable U2;
Positive variable U3;
Positive variable U4;
Positive variable U5;
Positive variable U6;
Positive variable U7;

* Definicion de las Ecuaciones

Equations

R1(j,l,k)	Restriccion de Demanda
R2(j)	Restriccion de Capacidad del Lider
R3(j,k)	Restriccion de Equilibrio del Líder
R4(j)	Restriccion de Seguridad de no perdidas

- R5(i) Restriccion de Capacidad del seguidor
R6(i) Restriccion de Equilibrio del seguidor
R7(i,j) Restriccion de Equilibrio de transporte del seguidor
- R8(j,l,k) Restriccion de Demanda por el Multiplicador Lagrange
R9(j) Restriccion de Capacidad del Lider por el Multiplicador Lagrange
R10(j,k) Restriccion de Equilibrio del Líder por el Multiplicador Lagrange
R11(j) Restriccion de Seguridad de no perdidas por el Multiplicador Lagrange
R12(i) Restriccion de Capacidad del seguidor por el Multiplicador Lagrange
R13(i) Restriccion de Equilibrio del seguidor por el Multiplicador Lagrange
R14(i,j) Restriccion de Equilibrio de transporte del seguidor por Multiplicador Lagrange
- R15(i,j,k) Restricción de la Función Gradiente con respecto a la variable QRPCCA
R16(i) Restricción de la Función Gradiente con respecto a la variable QP
R17(i,j) Restricción de la Función Gradiente con respecto a la variable QTPCA

F1max Funcion objetivo del Lider;

*Funciones Objetivo a Maximizar

$$F1max.. Zca = e = \text{sum}((j,l,k), PQCM(l,k) * QVCAMC(j,l,k)) - \text{sum}((j,l,k), CQVCAMC(j,l) * QVCAMC(j,l,k)) - \text{sum}((i,j,k), PCCA(j,k) * QRPCCA(i,j,k));$$

*RESTRICCIONES MENORES E IGUALES A CERO

- R1(j,l,k).. $QVCAMC(j,l,k) - DEMMER(l,k) = l = 0;$
R2(j).. $\text{sum}((i,k), QRPCCA(i,j,k)) - CAPCA(j) = l = 0;$
R3(j,k).. $\text{sum}(i, QRPCCA(i,j,k)) - \text{sum}(l, QVCAMC(j,l,k)) = l = 0;$
R4(j).. $\text{sum}((i,k), PCCA(j,k) * QRPCCA(i,j,k)) - \text{sum}(l, POCM(l,k) * QVCAMC(j,l,k)) = l = 0;$
R5(i).. $QP(i) - CAPP(i) = l = 0;$
R6(i).. $QP(i) - \text{sum}(j, QTPCA(i,j)) = l = 0;$
R7(i,j).. $QTPCA(i,j) - \text{sum}(k, QRPCCA(i,j,k)) = l = 0;$

*RESTRICCIONES DEL LIDER Y SEGUIDOR MULTIPLICADAS POR U

- R8(j,l,k).. $U1(j,l,k) * (QVCAMC(j,l,k) - DEMMER(l,k)) = e = 0;$
R9(j).. $U2(j) * (\text{sum}((i,k), QRPCCA(i,j,k)) - CAPCA(j)) = e = 0;$
R10(j,k).. $U3(j,k) * (\text{sum}(i, QRPCCA(i,j,k)) - \text{sum}(l, QVCAMC(j,l,k))) = e = 0;$
R11(j).. $U4(j) * (\text{sum}((i,k), PCCA(j,k) * QRPCCA(i,j,k)) - \text{sum}(l, POCM(l,k) * QVCAMC(j,l,k))) = e = 0;$
R12(i).. $U5(i) * (QP(i) - CAPP(i)) = e = 0;$
R13(i).. $U6(i) * (QP(i) - \text{sum}(j, QTPCA(i,j))) = e = 0;$
R14(i,j).. $U7(i,j) * (QTPCA(i,j) - \text{sum}(k, QRPCCA(i,j,k))) = e = 0;$

*RESTRICCIONES DE LA FUNCION GRADIENTE

R15(i,j,k).. $PCCA(j,k) + U2(j) - U3(j,k) - U7(i,j) = 1=0;$

R16(i).. $-CQP(i) + U5(i) + U6(i) = 1=0;$

R17(i,j).. $-QTPCA(i,j) - U6(i) + U7(i,j) = 1=0;$

MODEL Model1 /ALL/;

OPTION NLP = CONOPT;

SOLVE Model1 using NLP maximizing Zca;

DISPLAY

QP.L

QRPCCA.L

QTPCA.L

QVCAMC.L

Zca.L

ANEXO 5.

Resultados del cálculo de las variables con el modelo de Programación binivel

	Productor	Toneladas Producidas QP_i		Productor	Toneladas Producidas QP_i		Productor	Toneladas Producidas QP_i
w1	P1	2	w5	P42	1	w7	P83	2
	P2	2		P43	2		P84	4
	P3	2		P44	4		P85	1
	P4	3		P45	2		P86	1
	P5	2		P46	2		P87	1
	P6	2		P47	4		P88	1
	P7	2		P48	2		P89	1
	P8	2		P49	2		P90	2
	P9	2		P50	1		P91	2
	P10	2	P51	2	P92		2	
	P11	2	P52	1	P93		2	
	P12	2	P53	1	P94		2	
	w2	P14	2	w6	P54		3	P95
P15		2	P55		2	P96	2	
P16		2	P56		3	P97	2	
P17		2	P57		2	P98	2	
P18		2	P58		1	P99	1	
P19		2	P59		2	P100	1	
P20		1	P60		2	P101	1	
P21		1	P61		3	P102	2	
P22		1	P62		1	P103	1	
P23		2	P63		2	P104	6	
w3	P25	2	w7	P64	1	P105	2	
	P26	7		P65	1	P106	3	
	P27	2		P66	1	P107	3	
	P28	1		P67	1	P108	1	
	P29	1		P68	1	P109	1	
	P30	1		P69	2	P110	1	
w4	P31	2		P70	2	P111	1	
	P32	1		P71	1	P112	2	
	P33	1		P72	1	P113	2	
	P34	1		P73	1	P114	2	
	P35	1		P74	1	P115	2	
				P75	1	P116	3	
				P76	2	w9	P117	1

	P36	1		P77	3		P118	2
	P37	2		P78	3		P119	2
	P38	3		P79	2		P120	2
	P39	1		P80	1		P121	2
	P40	2		P81	1		P122	2
	P41	1		P82	1		P123	2

	Productor	Toneladas Producidas QP_i		Productor	Toneladas Producidas QP_i		Productor	Toneladas Producidas QP_i
W9	P124	2	W12	P165	2	W14	P206	2
	P125	2		P166	2		P207	2
	P126	2		P167	2		P208	2
	P127	1		P168	2		P209	2
	P128	3		P169	2		P210	2
	P129	1		P170	2		P211	2
	P130	1		P171	2		P212	2
	P131	7		P172	2		P213	1
	P132	2		P173	2		P214	2
	P133	1		P174	2		P215	2
	P134	1		P175	2		P216	2
	P135	1		P176	2		P217	2
	P136	2		P177	2		P218	1
	P137	2		P178	2		P219	1
	P138	2		P179	1		P220	1
	P139	2		P180	2		P221	1
P140	2	P181	2	P222	2			
P141	2	P182	2	P223	1			
P142	2	P183	2	P224	4			
P143	2	P184	2	P225	1			
P144	2	P185	2	P226	2			
W10	P145	2	W13	P186	2	P227	2	
	P146	2		P187	2	P228	2	
	P147	2		P188	2	P229	2	
	P148	2		P189	2	P230	2	
	P149	2		P190	2	P231	2	
	P150	1		P191	3	P232	2	
	P151	2		P192	2	P233	2	
	P152	2		P193	3	P234	2	
W11	P153	1	P194	2	P235	2		
	P154	2	P195	2	P236	2		
	P155	2	P196	3	P237	2		
	P156	3	P197	2	P238	2		
					W15			

	P157	2		P198	2		P239	2
	P158	1		P199	2		P240	2
	P159	1		P200	3		P241	2
	P160	1		P201	3		P242	2
	P161	1		P202	2		P243	2
	P162	2		P203	2		P244	2
	P163	2		P204	4		P245	2
	P164	2		P205	2		P246	2

			$QTPCA_i$				$QTPCA_i$				$QTPC_{A_{ij}}$
W1	P1	C1	2	W5	P42	C1	1	W7	P83	C1	2
	P2	C1	2		P43	C1	2		P84	C1	4
	P3	C1	2		P44	C1	4		P85	C1	1
	P4	C1	3		P45	C1	2		P86	C1	1
	P5	C1	2		P46	C1	2		P87	C1	1
	P6	C1	2		P47	C1	4		P88	C1	1
	P7	C1	2		P48	C1	2		P89	C1	1
	P8	C1	2		P49	C1	2		P90	C1	2
	P9	C1	2		P50	C1	1		P91	C1	2
	P10	C1	2		P51	C1	2		P92	C1	2
	P11	C1	2		P52	C1	1		P93	C1	2
	P12	C1	2		P53	C1	1		P94	C1	2
	P13	C1	2		P54	C1	3		P95	C1	2
W2	P14	C1	2	W6	P55	C1	2	W8	P96	C1	2
	P15	C1	2		P56	C1	3		P97	C1	2
	P16	C1	2		P57	C1	2		P98	C1	2
	P17	C1	2		P58	C1	1		P99	C1	1
	P18	C1	2		P59	C1	2		P100	C1	1
	P19	C1	2		P60	C1	2		P101	C1	1
	P20	C1	1		P61	C1	3		P102	C1	2
	P21	C1	1		P62	C1	1		P103	C1	1
	P22	C1	1		P63	C1	2		P104	C1	6
	P23	C1	2		P64	C1	1		P105	C1	2
	P24	C1	2		P65	C1	1		P106	C1	3
W3	P25	C1	2	W7	P66	C1	1	P107	C1	3	
	P26	C1	7		P67	C1	1	P108	C1	1	
	P27	C1	2		P68	C1	1	P109	C1	1	
	P28	C1	1		P69	C1	2	P110	C1	1	
	P29	C1	1		P70	C1	2	P111	C1	1	
	P30	C1	1		P71	C1	1	P112	C1	2	
W4	P31	C1	2	P72	C1	1	P113	C1	2		
	P32	C1	1	P73	C1	1	P114	C1	2		

	P33	C1	1		P74	C1	1	w9	P115	C1	2
	P34	C1	1		P75	C1	1		P116	C1	3
	P35	C1	1		P76	C1	2		P117	C1	1
	P36	C1	1		P77	C1	3		P118	C1	2
	P37	C1	2		P78	C1	3		P119	C1	2
	P38	C1	3		P79	C1	2		P120	C1	2
	P39	C1	1		P80	C1	1		P121	C1	2
	P40	C1	2		P81	C1	1		P122	C1	2
	P41	C1	1		P82	C1	1		P123	C1	2

			$QTPCA_i$				$QTPCA_i$				$QTPCA_i$
			i				i				i
w9	P124	C1	2	w12	P165	C1	2	w14	P206	C1	2
	P125	C1	2		P166	C1	2		P207	C1	2
	P126	C1	2		P167	C1	2		P208	C1	2
	P127	C1	1		P168	C1	2		P209	C1	2
	P128	C1	3		P169	C1	2		P210	C1	2
	P129	C1	1		P170	C1	2		P211	C1	2
	P130	C1	1		P171	C1	2		P212	C1	2
	P131	C1	7		P172	C1	2		P213	C1	1
	P132	C1	2		P173	C1	2		P214	C1	2
	P133	C1	1		P174	C1	2		P215	C1	2
	P134	C1	1		P175	C1	2		P216	C1	2
	P135	C1	1		P176	C1	2		P217	C1	2
	P136	C1	2		P177	C1	2		P218	C1	1
	P137	C1	2		P178	C1	2		P219	C1	1
w10	P145	C1	2	w13	P179	C1	1	P220	C1	1	
	P146	C1	2		P180	C1	2	P221	C1	1	
	P147	C1	2		P181	C1	2	P222	C1	2	
	P148	C1	2		P182	C1	2	P223	C1	1	
	P149	C1	2		P183	C1	2	P224	C1	4	
	P150	C1	1		P184	C1	2	P225	C1	1	
	P151	C1	2		P185	C1	2	P226	C1	2	
w11	P152	C1	2	P186	C1	2	P227	C1	2		
	P153	C1	1	P187	C1	2	P228	C1	2		
	P154	C1	2	P188	C1	2	P229	C1	2		
				P189	C1	2	P230	C1	2		
				P190	C1	2	P231	C1	2		
				P191	C1	3	P232	C1	2		
				P192	C1	2	P233	C1	2		
				P193	C1	3	P234	C1	2		
				P194	C1	2	P235	C1	2		
				P195	C1	2	P236	C1	2		

	P155	C1	2		P196	C1	3		P237	C1	2
	P156	C1	3		P197	C1	2	W15	P238	C1	2
	P157	C1	2		P198	C1	2		P239	C1	2
	P158	C1	1		P199	C1	2		P240	C1	2
	P159	C1	1		P200	C1	3		P241	C1	2
	P160	C1	1		P201	C1	3		P242	C1	2
	P161	C1	1		P202	C1	2		P243	C1	2
	P162	C1	2		P203	C1	2		P244	C1	2
	P163	C1	2		P204	C1	4		P245	C1	2
	P164	C1	2		P205	C1	2		P246	C1	2

				$QRPCCA_{ij}$					$QRPCCA_{ij}$				$QRPCCA_{ij}$	
				$,k$					$,k$				k	
W1	P1	C1	T3	2	W5	P42	C1	T3	1	W7	P83	C1	T3	2
	P2	C1	T3	2		P43	C1	T3	2		P84	C1	T3	4
	P3	C1	T3	2		P44	C1	T3	4		P85	C1	T3	1
	P4	C1	T3	3		P45	C1	T3	2		P86	C1	T3	1
	P5	C1	T3	2		P46	C1	T3	2		P87	C1	T3	1
	P6	C1	T3	2		P47	C1	T3	4		P88	C1	T3	1
	P7	C1	T3	2		P48	C1	T3	2		P89	C1	T3	1
	P8	C1	T3	2		P49	C1	T3	2		P90	C1	T3	2
	P9	C1	T3	2		P50	C1	T3	1		P91	C1	T3	2
	P10	C1	T3	2	P51	C1	T3	2	P92		C1	T3	2	
	P11	C1	T3	2	P52	C1	T3	1	P93		C1	T3	2	
	P12	C1	T3	2	P53	C1	T3	1	P94		C1	T3	2	
	P13	C1	T3	2	P54	C1	T3	3	P95		C1	T3	2	
W2	P14	C1	T3	2	W6	P55	C1	T3	2		P96	C1	T3	2
	P15	C1	T3	2		P56	C1	T3	3		P97	C1	T3	2
	P16	C1	T3	2		P57	C1	T3	2	P98	C1	T3	2	
	P17	C1	T3	2		P58	C1	T3	1	P99	C1	T3	1	
	P18	C1	T3	2		P59	C1	T3	2	P100	C1	T3	1	
	P19	C1	T3	2		P60	C1	T3	2	P101	C1	T3	1	
	P20	C1	T3	1		P61	C1	T3	3	P102	C1	T3	2	
	P21	C1	T3	1		P62	C1	T3	1	P103	C1	T3	1	
	P22	C1	T3	1		P63	C1	T3	2	P104	C1	T3	6	
	P23	C1	T3	2		P64	C1	T3	1	P105	C1	T3	2	
W3	P24	C1	T3	2	W7	P65	C1	T3	1	P106	C1	T3	3	
	P25	C1	T3	2		P66	C1	T3	1	P107	C1	T3	3	
	P26	C1	T3	7		P67	C1	T3	1	P108	C1	T3	1	
	P27	C1	T3	2		P68	C1	T3	1	P109	C1	T3	1	
	P28	C1	T3	1		P69	C1	T3	2	P110	C1	T3	1	
	P29	C1	T3	1		P70	C1	T3	2	P111	C1	T3	1	
	P30	C1	T3	1		P71	C1	T3	1	P112	C1	T3	2	
W4	P31	C1	T3	2		P72	C1	T3	1	P113	C1	T3	2	
	P32	C1	T3	1		P73	C1	T3	1	P114	C1	T3	2	
	P33	C1	T3	1		P74	C1	T3	1	P115	C1	T3	2	

	P34	C1	T3	1		P75	C1	T3	1		P116	C1	T3	3
	P35	C1	T3	1		P76	C1	T3	2		P117	C1	T3	1
	P36	C1	T3	1		P77	C1	T3	3		P118	C1	T3	2
	P37	C1	T3	2		P78	C1	T3	3		P119	C1	T3	2
	P38	C1	T3	3		P79	C1	T3	2		P120	C1	T3	2
	P39	C1	T3	1		P80	C1	T3	1		P121	C1	T3	2
	P40	C1	T3	2		P81	C1	T3	1		P122	C1	T3	2
	P41	C1	T3	1		P82	C1	T3	1		P123	C1	T3	2

				$QRPCCA_{i,j}$					$QRPCCA_{i,j}$					$QRPCCA_{i,j}$
				$,k$					$,k$					k
W9	P124	C1	T3	2	W12	P165	C1	T3	2	W14	P206	C1	T3	2
	P125	C1	T3	2		P166	C1	T3	2		P207	C1	T3	2
	P126	C1	T3	2		P167	C1	T3	2		P208	C1	T3	2
	P127	C1	T3	1		P168	C1	T3	2		P209	C1	T3	2
	P128	C1	T3	3		P169	C1	T3	2		P210	C1	T3	2
	P129	C1	T3	1		P170	C1	T3	2		P211	C1	T3	2
	P130	C1	T3	1		P171	C1	T3	2		P212	C1	T3	2
	P131	C1	T3	7		P172	C1	T3	2		P213	C1	T3	1
	P132	C1	T3	2		P173	C1	T3	2		P214	C1	T3	2
	P133	C1	T3	1		P174	C1	T3	2		P215	C1	T3	2
	P134	C1	T3	1		P175	C1	T3	2		P216	C1	T3	2
	P135	C1	T3	1		P176	C1	T3	2		P217	C1	T3	2
	P136	C1	T3	2		P177	C1	T3	2		P218	C1	T3	1
	P137	C1	T3	2		P178	C1	T3	2		P219	C1	T3	1
W10	P145	C1	T3	2	P179	C1	T3	1	P220	C1	T3	1		
	P146	C1	T3	2	P180	C1	T3	2	P221	C1	T3	1		
	P147	C1	T3	2	P181	C1	T3	2	P222	C1	T3	2		
	P148	C1	T3	2	P182	C1	T3	2	P223	C1	T3	1		
	P149	C1	T3	2	P183	C1	T3	2	P224	C1	T3	4		
	P150	C1	T3	1	P184	C1	T3	2	P225	C1	T3	1		
	P151	C1	T3	2	P185	C1	T3	2	P226	C1	T3	2		
	P152	C1	T3	2	P186	C1	T3	2	P227	C1	T3	2		
W11	P153	C1	T3	1	P187	C1	T3	2	P228	C1	T3	2		
	P154	C1	T3	2	P188	C1	T3	2	P229	C1	T3	2		
	P155	C1	T3	2	P189	C1	T3	2	P230	C1	T3	2		
	P156	C1	T3	3	P190	C1	T3	2	P231	C1	T3	2		
	P157	C1	T3	2	P191	C1	T3	3	P232	C1	T3	2		
	P158	C1	T3	1	P192	C1	T3	2	P233	C1	T3	2		
	P159	C1	T3	1	P193	C1	T3	3	P234	C1	T3	2		
					W13	P194	C1	T3	2	W15	P235	C1	T3	2
						P195	C1	T3	2		P236	C1	T3	2
						P196	C1	T3	3		P237	C1	T3	2
						P197	C1	T3	2		P238	C1	T3	2
						P198	C1	T3	2		P239	C1	T3	2
						P199	C1	T3	2		P240	C1	T3	2
						P200	C1	T3	3		P241	C1	T3	2

	P160	C1	T3	1		P201	C1	T3	3		P242	C1	T3	2
	P161	C1	T3	1		P202	C1	T3	2		P243	C1	T3	2
	P162	C1	T3	2		P203	C1	T3	2		P244	C1	T3	2
	P163	C1	T3	2		P204	C1	T3	4		P245	C1	T3	2
	P164	C1	T3	2		P205	C1	T3	2		P246	C1	T3	2

	Zpd Productor	Total Coalición		Zpd Productor	Total Coalición		Zpd Productor	Total Coalición
W1	\$ 1.360.000	\$ 18.100.000	W4	\$ 670.000	\$ 12.900.000	W7	\$ 1.440.000	\$ 35.730.000
	\$ 1.320.000			\$ 1.280.000			\$ 2.680.000	
	\$ 1.460.000		\$ 3.040.000	\$ 740.000				
	\$ 2.040.000		\$ 1.640.000	\$ 610.000				
	\$ 1.200.000		\$ 1.440.000	\$ 700.000				
	\$ 1.240.000		\$ 2.760.000	\$ 590.000				
	\$ 1.280.000		\$ 1.460.000	\$ 710.000				
	\$ 1.460.000		\$ 1.280.000	\$ 1.320.000				
	\$ 1.300.000		\$ 600.000	\$ 1.260.000				
	\$ 1.380.000		\$ 1.380.000	\$ 1.140.000				
	\$ 1.280.000		\$ 540.000	\$ 1.100.000				
	\$ 1.160.000		\$ 720.000	\$ 1.360.000				
	\$ 1.620.000		\$ 1.650.000	\$ 1.360.000				
	W2		\$ 1.400.000	\$ 13.730.000			W6	
\$ 1.340.000		\$ 1.830.000	\$ 1.440.000					
\$ 1.720.000		\$ 1.200.000	\$ 1.160.000					
\$ 1.540.000		\$ 680.000	\$ 590.000					
\$ 1.500.000		\$ 1.460.000	\$ 590.000					
\$ 1.620.000		\$ 1.240.000	\$ 680.000					
\$ 650.000		\$ 1.680.000	\$ 1.320.000					
\$ 620.000		\$ 720.000	\$ 580.000					
\$ 660.000		\$ 1.400.000	\$ 4.680.000					
\$ 1.340.000		\$ 640.000	\$ 1.520.000					
\$ 1.340.000	\$ 650.000	\$ 2.040.000						
W3	\$ 1.404.000	\$ 10.738.000	W7	\$ 590.000		W8	\$ 2.070.000	\$ 24.690.000
	\$ 5.264.000			\$ 730.000			\$ 620.000	
	\$ 1.624.000			\$ 690.000			\$ 590.000	
	\$ 882.000			\$ 1.220.000			\$ 580.000	
	\$ 802.000			\$ 1.260.000			\$ 670.000	
	\$ 762.000			\$ 740.000			\$ 1.420.000	
W4	\$ 1.680.000	\$ 12.544.000		\$ 720.000		W9	\$ 1.200.000	
	\$ 820.000			\$ 550.000			\$ 1.240.000	
	\$ 670.000			\$ 570.000			\$ 1.340.000	
	\$ 850.000			\$ 710.000			\$ 1.800.000	
	\$ 730.000			\$ 1.480.000			\$ 660.000	

	\$ 590.000			\$ 2.040.000			\$ 1.280.000	
	\$ 1.744.000			\$ 1.680.000			\$ 1.460.000	
	\$ 2.220.000			\$ 1.460.000			\$ 1.440.000	
	\$ 580.000			\$ 680.000			\$ 1.180.000	
	\$ 1.400.000			\$ 740.000			\$ 1.400.000	
	\$ 590.000			\$ 570.000			\$ 1.180.000	

	Zpd Productor	Total Coalición		Zpd Productor	Total Coalición		Zpd Productor	Total Coalición
W 9	\$ 1.380.000	\$ 36.980.000	W 12	\$ 1.660.000	\$ 39.150.000	W 14	\$ 1.560.000	\$ 31.580.000
	\$ 1.200.000			\$ 1.380.000			\$ 1.560.000	
	\$ 1.200.000			\$ 1.600.000			\$ 1.480.000	
	\$ 610.000			\$ 1.440.000			\$ 1.420.000	
	\$ 2.040.000			\$ 1.520.000			\$ 1.360.000	
	\$ 770.000			\$ 1.680.000			\$ 1.420.000	
	\$ 780.000			\$ 1.540.000			\$ 1.480.000	
	\$ 5.110.000			\$ 1.520.000			\$ 710.000	
	\$ 1.240.000			\$ 1.480.000			\$ 1.380.000	
	\$ 700.000			\$ 1.420.000			\$ 1.500.000	
	\$ 740.000			\$ 1.620.000			\$ 1.100.000	
	\$ 590.000			\$ 1.600.000			\$ 1.180.000	
	\$ 1.180.000			\$ 1.620.000			\$ 690.000	
	\$ 1.560.000			\$ 1.420.000			\$ 730.000	
	\$ 1.200.000			\$ 690.000			\$ 590.000	
	\$ 1.280.000			\$ 1.520.000			\$ 740.000	
	\$ 1.360.000			\$ 1.600.000			\$ 1.260.000	
	\$ 1.340.000			\$ 1.460.000			\$ 670.000	
	\$ 1.420.000			\$ 1.640.000			\$ 2.960.000	
\$ 1.360.000	\$ 1.600.000	\$ 610.000						
\$ 1.320.000	\$ 1.560.000	\$ 1.300.000						
W 10	\$ 1.400.000	\$ 10.800.000	W 13	\$ 1.640.000	\$ 37.370.000	W 15	\$ 1.600.000	\$ 12.200.000
	\$ 1.360.000			\$ 1.320.000			\$ 1.520.000	
	\$ 1.300.000			\$ 1.560.000			\$ 1.420.000	
	\$ 1.540.000			\$ 1.460.000			\$ 1.640.000	
	\$ 1.520.000			\$ 1.400.000			\$ 1.340.000	
	\$ 720.000			\$ 1.770.000			\$ 1.360.000	
	\$ 1.420.000			\$ 1.400.000			\$ 1.260.000	
\$ 1.540.000	\$ 2.220.000	\$ 1.420.000						
W 11	\$ 810.000	\$ 13.950.000	W 13	\$ 1.340.000	\$ 37.370.000	W 15	\$ 1.560.000	\$ 12.200.000
	\$ 1.520.000			\$ 1.460.000			\$ 1.540.000	
	\$ 1.620.000			\$ 1.800.000			\$ 1.500.000	
	\$ 2.190.000			\$ 1.360.000			\$ 1.440.000	
	\$ 1.560.000			\$ 1.500.000			\$ 1.400.000	

	\$ 770.000			\$ 1.560.000			\$ 1.180.000	
	\$ 800.000			\$ 2.010.000			\$ 1.260.000	
	\$ 660.000			\$ 2.190.000			\$ 1.380.000	
	\$ 760.000			\$ 1.540.000			\$ 1.320.000	
	\$ 1.720.000			\$ 1.400.000			\$ 1.200.000	
	\$ 1.540.000			\$ 2.880.000			\$ 1.320.000	
	\$ 1.600.000			\$ 1.260.000			\$ 1.700.000	
							\$ 326.862.000	\$ 326.862.000

ANEXO 6.

Programación en GAMS de Modelo con Coaliciones

SET

* Conjuntos

i Productores /P1*P246/

j Centros de Acopio /C1,C2/

k Tipo de Productos /T1,T2,T3/ ;

* Definición de los Parametros del Modelo

Parameter CQP(i) Costo de Producir por el productor i

CQP(i) /

\$include "G:\Modelo original\CQP-Coalicion.txt"

/;

Table CQTPCA(i,j) Costo por tonelada de cacao transportado desde el productor i hasta el centro de acopio j

Table PCCA(j,k) Precio de tonelada de cacao en el centro de acopio j para el tipo k

	T1	T2	T3
C1	2000000	4000000	4500000
C2	1000000	3500000	4000000 ;

Parameter CAPP(i) Capacidad del productor i

CAPP(i) /

\$include "G:\Modelo original\b.txt"

/;

Parameter CAPCA(j) Capacidad del centro de acopio j

/

C1 1200

C2 50/;

* Definicion de las Variables del Modelo

Variables

QP(i) Toneladas producidas de cacao por el productor i

QTPCA(i,j) Toneladas de cacao transportadas desde el productor i hasta el centro de acopio j

QRPCCA(i,j,k) Toneladas de cacao recibidas desde el productor i en el centro de acopio j del tipo k

Zpd Funcion Objetivo del Seguidor;

* Definicion del Tipo de Variable

Positive variable QP;

Positive variable QTPCA;

Positive variable QRCCA;

* Definicion de las Ecuaciones

Equations

R1(j) Restriccion de Capacidad del Lider

R2(i) Restriccion de Capacidad del seguidor

R3(i) Restriccion de Equilibrio del seguidor

R4(i,j) Restriccion de Equilibrio de transporte del seguidor

F2max Funcion objetivo del Seguidor;

*Funciones Objetivo a Maximizar

F2max.. Zpd =e= $\sum((i,j,k), PCCA(j,k)*QRCCA(i,j,k)) - \sum(i, CQP(i)*QP(i)) - \sum((i,j), CQTPCA(i,j)*QTPCA(i,j));$

*RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD LIDER

R1(j).. $\sum((i,k), QRCCA(i,j,k)) =l= CAPCA(j);$

*RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD DEL SEGUIDOR

R2(i).. $QP(i) =l= CAPP(i);$

*RESTRICCIÓN DE EQUILIBRIO SEGUIDOR

R3(i).. $QP(i) =e= \sum(j, QTPCA(i,j));$

*RESTRICCIÓN DE EQUILIBRIO DE TRANSPORTE SEGUIDOR

R4(i,j).. $QTPCA(i,j) =e= \sum(k, QRCCA(i,j,k));$

MODEL Model2 /F2max,R1,R2,R3,R4/;

OPTION NLP = CONOPT;

OPTION ITERLIM=300000;

OPTION RESLIM=100000;

OPTION subsystems;

OPTION optca=0;

OPTION optcr=0.01;

SOLVE model2 using NLP maximizing Zpd;

DISPLAY

QP.L

QTPCA.L

QRCCA.L

Zpd.L

ANEXO 7.

Cálculo de la Función Característica y verificación de las propiedades

Propiedad de conjunto vacío

Funcion Caracteristica	
F	Valor $v(S)$
0	0
1	\$ 1.404.000
2	\$ 5.264.000
3	\$ 1.624.000
4	\$ 882.000
5	\$ 802.000
6	\$ 762.000
1,2	\$ 9.818.000
1,3	\$ 3.928.000
1,4	\$ 3.186.000
1,5	\$ 3.106.000
1,6	\$ 3.066.000
2,3	\$ 10.038.000
2,4	\$ 9.296.000
2,5	\$ 9.216.000
2,6	\$ 9.176.000
3,4	\$ 3.406.000
3,5	\$ 3.326.000
3,6	\$ 3.286.000
4,5	\$ 2.134.000
4,6	\$ 2.094.000
5,6	\$ 2.014.000
1,2,3	\$ 11.442.000
1,2,4	\$ 10.700.000
1,2,5	\$ 10.620.000
1,2,6	\$ 10.580.000
1,3,4	\$ 4.810.000
1,3,5	\$ 4.730.000
1,3,6	\$ 4.690.000
1,4,5	\$ 3.988.000
1,4,6	\$ 3.948.000
1,5,6	\$ 3.868.000

Funcion Caracteristica	
F	Valor $v(S)$
2,3,4	\$ 10.920.000
2,3,5	\$ 10.840.000
2,3,6	\$ 10.800.000
2,4,5	\$ 10.098.000
2,4,6	\$ 10.058.000
2,5,6	\$ 9.978.000
3,4,5	\$ 4.208.000
3,4,6	\$ 4.168.000
3,5,6	\$ 4.088.000
4,5,6	\$ 2.896.000
1,2,3,4	\$ 12.324.000
1,2,3,5	\$ 12.244.000
1,2,3,6	\$ 12.204.000
1,2,4,5	\$ 11.502.000
1,2,4,6	\$ 11.462.000
1,2,5,6	\$ 11.382.000
1,3,4,5	\$ 5.612.000
1,3,4,6	\$ 5.572.000
1,3,5,6	\$ 5.492.000
1,4,5,6	\$ 4.750.000
2,3,4,5	\$ 11.722.000
2,3,4,6	\$ 11.682.000
2,3,5,6	\$ 11.602.000
2,4,5,6	\$ 10.860.000
3,4,5,6	\$ 4.970.000
1,2,3,4,5	\$ 13.126.000
1,2,3,4,6	\$ 13.086.000
1,2,3,5,6	\$ 13.006.000
1,2,4,5,6	\$ 12.264.000
1,3,4,5,6	\$ 6.374.000
2,3,4,5,6	\$ 12.484.000
1,2,3,4,5,6	\$ 13.888.000

Propiedad de Superaditividad

Funcion			Funcion					
1,2	=	\$ 9.818.000	>	1+2		Cumple		
				\$ 6.668.000				
1,3	=	\$ 3.928.000	>	1+3		Cumple		
				\$ 3.028.000				
1,4	=	\$ 3.186.000	>	1+4		Cumple		
				\$ 2.286.000				
1,5	=	\$ 3.106.000	>	1+5		Cumple		
				\$ 2.206.000				
1,6	=	\$ 3.066.000	>	1+6		Cumple		
				\$ 2.166.000				
2,3	=	\$ 10.038.000	>	2+3		Cumple		
				\$ 6.888.000				
2,4	=	\$ 9.296.000	>	2+4		Cumple		
				\$ 6.146.000				
2,5	=	\$ 9.216.000	>	2+5		Cumple		
				\$ 6.066.000				
2,6	=	\$ 9.176.000	>	2+6		Cumple		
				\$ 6.026.000				
3,4	=	\$ 3.406.000	>	3+4		Cumple		
				\$ 2.506.000				
3,5	=	\$ 3.326.000	>	3+5		Cumple		
				\$ 2.426.000				
3,6	=	\$ 3.286.000	>	3+6		Cumple		
				\$ 2.386.000				
4,5	=	\$ 2.134.000	>	4+5		Cumple		
				\$ 1.684.000				
4,6	=	\$ 2.094.000	>	4+6		Cumple		
				\$ 1.644.000				
5,6	=	\$ 2.014.000	>	5+6		Cumple		
				\$ 1.564.000				
1,2,3	=	\$ 11.442.000	>	1+2+3	1,2+3	1,3+2	2,3+1	Cumple
				\$ 8.292.000	\$ 11.442.000	\$ 9.192.000	\$ 11.442.000	
1,2,4	=	\$ 10.700.000	>	1+2+4	1,2+4	1,4+2	2,4+1	Cumple
				\$ 7.550.000	\$ 10.700.000	\$ 8.450.000	\$ 10.700.000	
1,2,5	=	\$ 10.620.000	>	1+2+5	1,2+5	1,5+2	2,5+1	Cumple
				\$ 7.470.000	\$ 10.620.000	\$ 8.370.000	\$ 10.620.000	
1,2,6	=	\$ 10.580.000	>	1+2+6	1,2+6	1,6+2	2,6+1	Cumple
				\$ 7.430.000	\$ 10.580.000	\$ 8.330.000	\$ 10.580.000	
1,3,4	=	\$ 4.810.000	>	1+3+4	1,3+4	1,4+3	3,4+1	Cumple
				\$ 3.910.000	\$ 4.810.000	\$ 4.810.000	\$ 4.810.000	
1,3,5	=	\$ 4.730.000	>	1+3+5	1,3+5	1,5+3	3,5+1	Cumple
				\$ 3.830.000	\$ 4.730.000	\$ 4.730.000	\$ 4.730.000	
1,3,6	=	\$ 4.690.000	>	1+3+6	1,3+6	1,6+3	3,6+1	Cumple
				\$ 3.790.000	\$ 4.690.000	\$ 4.690.000	\$ 4.690.000	
1,4,5	=	\$ 3.988.000	>	1+4+5	1,4+5	1,5+4	4,5+1	Cumple
				\$ 3.088.000	\$ 3.988.000	\$ 3.988.000	\$ 3.538.000	
1,4,6	=	\$ 4.168.000	>	1+4+6	1,4+6	1,6+4	4,6+1	Cumple
				\$ 3.048.000	\$ 3.948.000	\$ 3.948.000	\$ 3.498.000	
1,5,6	=	\$ 3.868.000	>	1+5+6	1,5+6	1,6+5	5,6+1	Cumple
				\$ 2.968.000	\$ 3.868.000	\$ 3.868.000	\$ 3.418.000	
2,3,4	=	\$ 10.920.000	>	2+3+4	2,3+4	2,4+3	3,4+2	Cumple
				\$ 7.770.000	\$ 10.920.000	\$ 10.920.000	\$ 8.670.000	
2,3,5	=	\$ 10.840.000	>	2+3+5	2,3+5	2,5+3	3,5+2	Cumple
				\$ 7.690.000	\$ 10.840.000	\$ 10.840.000	\$ 8.590.000	
2,3,6	=	\$ 10.800.000	>	2+3+6	2,3+6	2,6+3	3,6+2	Cumple
				\$ 7.650.000	\$ 10.800.000	\$ 10.800.000	\$ 8.550.000	
2,4,5	=	\$ 10.098.000	>	2+4+5	2,4+5	2,5+4	4,5+2	Cumple
				\$ 6.948.000	\$ 10.098.000	\$ 10.098.000	\$ 7.398.000	
2,4,6	=	\$ 10.058.000	>	2+4+6	2,4+6	2,6+4	4,6+2	Cumple
				\$ 6.908.000	\$ 10.058.000	\$ 10.058.000	\$ 7.358.000	
2,5,6	=	\$ 9.978.000	>	2+5+6	2,5+6	2,6+5	5,6+2	Cumple
				\$ 6.828.000	\$ 9.978.000	\$ 9.978.000	\$ 7.278.000	
3,4,5	=	\$ 4.208.000	>	3+4+5	3,4+5	3,5+4	4,5+3	Cumple
				\$ 3.308.000	\$ 4.208.000	\$ 4.208.000	\$ 3.758.000	
3,4,6	=	\$ 4.168.000	>	3+4+6	3,4+6	3,6+4	4,6+3	Cumple
				\$ 3.268.000	\$ 4.168.000	\$ 4.168.000	\$ 3.718.000	
3,5,6	=	\$ 4.088.000	>	3+5+6	3,5+6	3,6+5	5,6+3	Cumple
				\$ 3.188.000	\$ 4.088.000	\$ 4.088.000	\$ 3.638.000	
4,5,6	=	\$ 2.896.000	>	4+5+6	4,5+6	4,6+5	5,6+4	Cumple
				\$ 2.446.000	\$ 2.896.000	\$ 2.896.000	\$ 2.896.000	

1,2,3,4	=	\$ 12.324.000	>	1+2+3+4 \$ 9.174.000	1,2,3+4 \$ 12.324.000	1,2,4 +3 \$ 12.324.000	1,3,4+2 \$ 10.074.000	2,3,4+1 \$ 12.324.000	Cumple	
1,2,3,5	=	\$ 12.244.000	>	1+2+3+5 \$ 9.094.000	1,2,3+5 \$ 12.244.000	1,2,5 +3 \$ 12.244.000	1,3,5+2 \$ 9.994.000	2,3,5+1 \$ 12.244.000	Cumple	
1,2,3,6	=	\$ 12.204.000	>	1+2+3+6 \$ 9.054.000	1,2,3+6 \$ 12.204.000	1,2,6 +3 \$ 12.204.000	1,3,6+2 \$ 9.954.000	2,3,6+1 \$ 12.204.000	Cumple	
1,2,4,5	=	\$ 11.502.000	>	1+2+4+5 \$ 8.352.000	1,2,4+5 \$ 11.502.000	1,2,5 +4 \$ 11.502.000	1,4,5+2 \$ 9.252.000	2,4,5+1 \$ 11.502.000	Cumple	
1,2,4,6	=	\$ 11.462.000	>	1+2+4+6 \$ 8.312.000	1,2,4+6 \$ 11.462.000	1,2,6 +4 \$ 11.462.000	1,4,6+2 \$ 9.212.000	2,4,6+1 \$ 11.462.000	Cumple	
1,2,5,6	=	\$ 11.382.000	>	1+2+5+6 \$ 8.232.000	1,2,5+6 \$ 11.382.000	1,2,6 +5 \$ 11.382.000	1,5,6+2 \$ 9.132.000	2,5,6+1 \$ 11.382.000	Cumple	
1,3,4,5	=	\$ 5.612.000	>	1+3+4+5 \$ 4.712.000	1,3,4+5 \$ 5.612.000	1,3,5 +4 \$ 5.612.000	1,4,5+3 \$ 5.612.000	3,4,5+1 \$ 5.612.000	Cumple	
1,3,4,6	=	\$ 5.572.000	>	1+3+4+6 \$ 4.672.000	1,3,4+6 \$ 5.572.000	1,3,6 +4 \$ 5.572.000	1,4,6+3 \$ 5.572.000	3,4,6+1 \$ 5.572.000	Cumple	
1,3,5,6	=	\$ 5.492.000	>	1+3+5+6 \$ 4.592.000	1,3,5+6 \$ 5.492.000	1,3,6 +5 \$ 5.492.000	1,5,6+3 \$ 5.492.000	3,5,6+1 \$ 5.492.000	Cumple	
1,4,5,6	=	\$ 4.750.000	>	1+4+5+6 \$ 3.850.000	1,4,5+6 \$ 4.750.000	1,4,6 +5 \$ 4.750.000	1,5,6+4 \$ 4.750.000	4,5,6+1 \$ 4.300.000	Cumple	
2,3,4,5	=	\$ 11.722.000	>	2+3+4+5 \$ 8.572.000	2,3,4+5 \$ 11.722.000	2,3,5 +4 \$ 11.722.000	2,4,5+3 \$ 11.722.000	3,4,5+2 \$ 9.472.000	Cumple	
2,3,4,6	=	\$ 11.682.000	>	2+3+4+6 \$ 8.532.000	2,3,4+6 \$ 11.682.000	2,3,6 +4 \$ 11.682.000	2,4,6+3 \$ 11.682.000	3,4,6+2 \$ 9.432.000	Cumple	
2,3,5,6	=	\$ 11.602.000	>	2+3+5+6 \$ 8.452.000	2,3,5+6 \$ 11.602.000	2,3,6 +5 \$ 11.602.000	2,5,6+3 \$ 11.602.000	3,5,6+2 \$ 9.352.000	Cumple	
2,4,5,6	=	\$ 10.860.000	>	2+4+5+6 \$ 7.710.000	2,4,5+6 \$ 10.860.000	2,4,6 +5 \$ 10.860.000	2,5,6+4 \$ 10.860.000	4,5,6+2 \$ 8.160.000	Cumple	
3,4,5,6	=	\$ 4.970.000	>	3+4+5+6 \$ 4.070.000	3,4,5+6 \$ 4.970.000	3,4,6 +5 \$ 4.970.000	3,5,6+4 \$ 4.970.000	4,5,6+3 \$ 4.520.000	Cumple	
1,2,3,4,5	=	\$ 13.126.000	>	1+2+3+4+5 \$ 9.976.000	1,2,3,4+5 \$ 13.126.000	1,2,3,5+4 \$ 13.126.000	1,2,4,5+3 \$ 13.126.000	1,3,4,5+2 \$ 10.876.000	2,3,4,5+1 \$ 13.126.000	Cumple
1,2,3,4,6	=	\$ 13.086.000	>	1+2+3+4+6 \$ 9.936.000	1,2,3,4+6 \$ 13.086.000	1,2,3,6+4 \$ 13.086.000	1,2,4,6+3 \$ 13.086.000	1,3,4,6+2 \$ 10.836.000	2,3,4,6+1 \$ 13.086.000	Cumple
1,2,3,5,6	=	\$ 13.006.000	>	1+2+3+5+6 \$ 9.856.000	1,2,3,5+6 \$ 13.006.000	1,2,3,6+5 \$ 13.006.000	1,2,5,6+3 \$ 13.006.000	1,3,5,6+2 \$ 10.756.000	2,3,5,6+1 \$ 13.006.000	Cumple
1,2,4,5,6	=	\$ 12.264.000	>	1+2+4+5+6 \$ 9.114.000	1,2,4,5+6 \$ 12.264.000	1,2,4,6+5 \$ 12.264.000	1,2,5,6+4 \$ 12.264.000	1,4,5,6+2 \$ 10.014.000	2,4,5,6+1 \$ 12.264.000	Cumple
1,3,4,5,6	=	\$ 6.374.000	>	1+3+4+5+6 \$ 5.474.000	1,3,4,5+6 \$ 6.374.000	1,3,4,6+5 \$ 6.374.000	1,3,5,6+4 \$ 6.374.000	1,4,5,6+3 \$ 6.374.000	3,4,5,6+1 \$ 6.374.000	Cumple
2,3,4,5,6	=	\$ 12.484.000	>	2+3+4+5+6 \$ 9.334.000	2,3,4,5+6 \$ 12.484.000	2,3,4,6+5 \$ 12.484.000	2,3,5,6+4 \$ 12.484.000	2,4,5,6+3 \$ 12.484.000	3,4,5,6+2 \$ 10.234.000	Cumple
1,2,3,4,5,6	=	\$ 13.888.000	>	1+2+3+4+5+6 \$ 10.738.000	1,2,3,4,5+6 \$ 13.888.000	1,2,3,4,6+5 \$ 13.888.000	1,2,3,5,6+4 \$ 13.888.000	1,2,4,5,6+3 \$ 13.888.000	1,3,4,5,6+2 \$ 11.638.000	Cumple

Propiedad de suma constante

Funcion Caracteristica		Complemento		Constante K
F	Valor $v(S)$	F	Valor $v(S)$	
2,3,4	\$ 10.920.000	1,5,6	\$ 3.868.000	\$ 14.788.000
2,3,5	\$ 10.840.000	1,4,6	\$ 3.948.000	\$ 14.788.000
2,3,6	\$ 10.800.000	1,4,5	\$ 3.988.000	\$ 14.788.000
2,4,5	\$ 10.098.000	1,3,6	\$ 4.690.000	\$ 14.788.000
2,4,6	\$ 10.058.000	1,3,5	\$ 4.730.000	\$ 14.788.000
2,5,6	\$ 9.978.000	1,3,4	\$ 4.810.000	\$ 14.788.000
3,4,5	\$ 4.208.000	1,2,6	\$ 10.580.000	\$ 14.788.000
3,4,6	\$ 4.168.000	1,2,5	\$ 10.620.000	\$ 14.788.000
3,5,6	\$ 4.088.000	1,2,4	\$ 10.700.000	\$ 14.788.000
4,5,6	\$ 2.896.000	1,2,3	\$ 11.442.000	\$ 14.338.000
1,2,3,4	\$ 12.324.000	5,6	\$ 2.014.000	\$ 14.338.000
1,2,3,5	\$ 12.244.000	4,6	\$ 2.094.000	\$ 14.338.000
1,2,3,6	\$ 12.204.000	4,5	\$ 2.134.000	\$ 14.338.000
1,2,4,5	\$ 11.502.000	3,6	\$ 3.286.000	\$ 14.788.000
1,2,4,6	\$ 11.462.000	3,5	\$ 3.326.000	\$ 14.788.000
1,2,5,6	\$ 11.382.000	3,4	\$ 3.406.000	\$ 14.788.000
1,3,4,5	\$ 5.612.000	2,6	\$ 9.176.000	\$ 14.788.000
1,3,4,6	\$ 5.572.000	2,5	\$ 9.216.000	\$ 14.788.000
1,3,5,6	\$ 5.492.000	2,4	\$ 9.296.000	\$ 14.788.000
1,4,5,6	\$ 4.750.000	2,3	\$ 10.038.000	\$ 14.788.000
2,3,4,5	\$ 11.722.000	1,6	\$ 3.066.000	\$ 14.788.000
2,3,4,6	\$ 11.682.000	1,5	\$ 3.106.000	\$ 14.788.000
2,3,5,6	\$ 11.602.000	1,4	\$ 3.186.000	\$ 14.788.000
2,4,5,6	\$ 10.860.000	1,3	\$ 3.928.000	\$ 14.788.000
3,4,5,6	\$ 4.970.000	1,2	\$ 9.818.000	\$ 14.788.000
1,2,3,4,5	\$ 13.126.000	6	\$ 762.000	\$ 13.888.000
1,2,3,4,6	\$ 13.086.000	5	\$ 802.000	\$ 13.888.000
1,2,3,5,6	\$ 13.006.000	4	\$ 882.000	\$ 13.888.000
1,2,4,5,6	\$ 12.264.000	3	\$ 1.624.000	\$ 13.888.000
1,3,4,5,6	\$ 6.374.000	2	\$ 5.264.000	\$ 11.638.000
2,3,4,5,6	\$ 12.484.000	1	\$ 1.404.000	\$ 13.888.000

ANEXO 8.

Programación en Java en entorno NetBeans 7.2.1 del cálculo del Valor de Shapley

```
package ejercioteoriajuegos;
import java.util.ArrayList;
//AUTOR : ING. GERMAN HERRERA VIDAL
public class EjercicioTeoriaJuegos {
    //VALOR DEL DESCUENTO
    public static double DESCUENTO = 450000;
    //FUNCIÓN QUE DEVUELVE EL PRODUCTOR EN LA LISTA
    public static Productor obtenerProductor(ArrayList<Productor> productores, int id) {
        for (Productor productor : productores) {
            if (productor.id == id) {
                return new Productor(productor);
            }
        }
        return null;
    }
    //FUNCION QUE DEVUELVE EL FACTORIAL
    public static double factorial(int num) {
        double total = 1.0;
        for (int k = 1; k <= num; k++) {
            total = total * k;
        }
        return total;
    }
    //FUNCIÓN QUE DEVUELVE EL VALOR DE LA UTILIDAD POR
    COMBINACIÓN
    public static double utilidadPorEtiqueta(ArrayList<Combinacion> combinaciones, String
    etiqueta) {
        double utilidad = 0.0;
        for (Combinacion combinacion : combinaciones) {
            if (combinacion.implicados.equals(etiqueta)) {
                return combinacion.utilidades;
            }
        }
        return utilidad;
    }
    public static void main(String[] args) {
        ArrayList<Productor> productores = new ArrayList<Productor>();
```

```

//DATOS DE ENTRADA-PRODUCTORES CASO 6 PRODUCTORES
productores.add(new Productor(1, 2, 3790000, 8000, 4500000));
productores.add(new Productor(2, 7, 3740000, 8000, 4500000));
productores.add(new Productor(3, 2, 3680000, 8000, 4500000));
productores.add(new Productor(4, 1, 3610000, 8000, 4500000));
productores.add(new Productor(5, 1, 3690000, 8000, 4500000));
productores.add(new Productor(6, 1, 3730000, 8000, 4500000));

//PARA AGREGAR OTRO PRODUCTOR AGREGAR LA LINEA
//productores.add(new Productor(ID, UNIDADES_PRODUCIDAS,
COSTO_PRODUCCIÓN, COSTO_TRANSPORTE, PRECIO_VENTA));

//VARIABLES DEL EJERCICIO
int numProductores = productores.size();
//ArrayList<Productor> productoresAux;
String productoresAux = "";
//TABLA DE COMBINACIONES
ArrayList<Combinacion> combinaciones = new ArrayList<Combinacion>();

//MATRIZ DE RESULTADOS
Double[][] matriz1 = new Double[numProductores][numProductores];/((S-1)!*(n-
S)!)/n!
Double[][] matriz2 = new Double[numProductores][numProductores];/v(S)-V(S-{i})
Double[][] matriz3 = new Double[numProductores][numProductores];/((S-1)!*(n-
S)!)/n!*(v(S)-V(S-{i}))

//GENERACION DE COMBINACIONES

System.out.println("=====");
for (int i = 0; i < Math.pow(2, numProductores); i++) {
    int arreglo[] = new int[numProductores];
    int temp = i;
    for (int l = 0; l < arreglo.length; l++) {
        arreglo[l] = temp % 2;
        temp /= 2;
    }
    //productoresAux = new ArrayList<Productor>();
    productoresAux = "";
    for (int j = 0; j < arreglo.length; j++) {
        if (arreglo[j] == 1) {
            //productoresAux.add(obtenerProductor(productores, j + 1));
            productoresAux += (j + 1) + ",";
        }
    }
}
if (!productoresAux.isEmpty()) {

```



```

        combinaciones.add(new Combinacion(productoresAux, productores));
    }
}
//SI SE QUIERE QUE EL PROGRAMA SE EJECUTE MÁS RAPIDO ENTONCES
COMENTARIAR ESTO
for (int i = 1; i <= numProductores; i++) {
    for (Combinacion combinacion : combinaciones) {
        if (combinacion.subconjunto == i) {
            System.out.println(combinacion);
        }
    }
}
for (int i = 1; i <= numProductores; i++) {
    for (Combinacion combinacion : combinaciones) {
        if (combinacion.subconjunto == i) {
            System.out.println(combinacion);
        }
    }
}
}
}

```

//CREAR MATRIZ1

```

System.out.println("=====");
for (int i = 0; i < numProductores; i++) {
    for (int j = 0; j < numProductores; j++) {
        //(S-1)!*(n-S)!/n!
        matriz1[i][j] = (EjercicioTeoriaJuegos.factorial(((i + 1) - 1)) *
EjercicioTeoriaJuegos.factorial((numProductores - (i + 1)))) /
EjercicioTeoriaJuegos.factorial(numProductores);
    }
}
for (int i = 0; i < numProductores; i++) {
    for (int j = 0; j < numProductores; j++) {
        //(S-1)!*(n-S)!/n!
        System.out.print(matriz1[j][i] + " - ");
    }
    System.out.println("");
}
}
}

```

//CREAR MATRIZ2

```

System.out.println("=====");
for (int i = 0; i < numProductores; i++) {
    for (int j = 0; j < numProductores; j++) {
        matriz2[i][j] = 0.0;
    }
}
}
}

```

```

    }
  }
  for (int i = 0; i < numProductores; i++) { //Productores
    for (int j = 0; j < numProductores; j++) { //Subconjunto
      if (j == 0) {
        matriz2[i][j] = EjercicioTeoriaJuegos.obtenerProductor(productores, (i +
1)).utilidades;
      } else {
        for (Combinacion combinacion : combinaciones) {
          if (combinacion.subconjunto == (j + 1)) {
            String impli[] = combinacion.implificados.split(",");
            //for (Productor productor : combinacion.implificados) {
            for (int k = 0; k < impli.length; k++) {
              if (Integer.parseInt(impli[k]) == (i + 1)) {
                matriz2[i][j] += combinacion.utilidades -
EjercicioTeoriaJuegos.utilidadPorEtiqueta(combinaciones,
combinacion.implificados.replaceFirst((i + 1) + ", ", ""));
              }
            }
          }
        }
      }
    }
  }
}
for (int i = 0; i < numProductores; i++) {
  for (int j = 0; j < numProductores; j++) {
    System.out.print(matriz2[i][j] + " - ");
  }
  System.out.println("");
}

```

//CREAR MATRIZ3

```

System.out.println("=====");
Double[] resultadoShaply = new Double[numProductores];
double totalBinivel = 0.0, totalShapley = 0.0;
for (int i = 0; i < resultadoShaply.length; i++) {
  resultadoShaply[i] = 0.0;
}
for (int i = 0; i < numProductores; i++) {
  for (int j = 0; j < numProductores; j++) {
    matriz3[i][j] = matriz1[j][i] * matriz2[i][j];
    resultadoShaply[i] += matriz3[i][j];
    System.out.print(matriz3[i][j] + " - ");
  }
}

```

```

    System.out.print(resultadoShaply[i]);
    System.out.println("");
}

```

```

for (int i = 0; i < numProductores; i++) {
    totalShapley += resultadoShaply[i];
    totalBinivel += productores.get(i).utilidades;
}

```

//IMPRESIÓN DE RESULTADOS

```

System.out.println("=====");
System.out.println("    BINIVEL-NO COLABORATIVO");
for (Productor productor : productores) {
    System.out.println("        " + productor.utilidades);
}
System.out.println("-----");
System.out.println("Gran total = " + totalBinivel);

System.out.println("=====");
System.out.println("    SHAPLEY-COLABORATIVO");
for (int i = 0; i < resultadoShaply.length; i++) {
    System.out.println("        " + resultadoShaply[i]);
}
System.out.println("-----");
System.out.println("Gran total = " + totalShapley);
}
}

```

