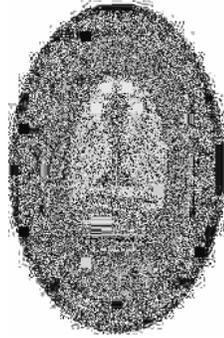


Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas  
Facultad de Ciencias Empresariales  
Departamento de Ingeniería Industrial



# Diseño y gestión de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar. Aplicación a los residuos agrícolas cañeros, el bagazo y las mieles

Resumen de Tesis en opción al grado científico de Doctor en  
Ciencias Técnicas

Autor: M.Sc. Ing. José Alberto Knudsen González

Tutores: Dr.C. Ing. Roberto Cespón Castro

Dr.C. Ing. Fernando Marrero Delgado

Santa Clara, 2005

## Tabla de contenidos

	Pág
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO - REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1 Características actuales de la agroindustria de la caña de azúcar. Necesidad de la diversificación. Clasificación y situación actual de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar	5
1.1.1 Beneficios ambientales y situación actual del uso de los residuos agrícolas cañeros (RAC) con fines energéticos	7
1.1.2 Situación actual de la producción de tableros aglomerados de bagazo	7
1.1.3 Estado actual del empleo de las mieles para la obtención de alcohol	8
1.2 Diseño y gestión de los sistemas logísticos	8
1.2.1 Filosofías de gestión de los sistemas logísticos	9
1.2.2 Las decisiones logísticas en el diseño y la gestión de sistemas logísticos	10
1.3 Aplicación del enfoque logístico al caso de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar. Implicaciones ambientales	10
1.3.1 Significación ambiental y experiencias nacionales e internacionales en las cadenas de suministro para el reciclaje de la biomasa cañera con fines energéticos	11
1.3.2 Particularidades de las cadenas de suministro actuales para el reciclaje del bagazo y las mieles hacia la industria	12
1.4 Conclusiones parciales	12
CAPÍTULO 2. MODELO CONCEPTUAL Y PROCEDIMIENTO GENERAL PARA EL DISEÑO Y LA GESTIÓN EN LOS NIVELES TÁCTICO Y OPERATIVO DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE LOS RESIDUOS DE LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR	
2.1 Concepción teórica del modelo conceptual	13
2.2 Fundamentación del procedimiento general	13
2.2.1 Descripción del procedimiento general y sus procedimientos específicos	14
2.3 Indicador integral para evaluar el nivel de desempeño de la cadena de suministro (NDCS) de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar	19
2.4 Conclusiones parciales	19
CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO GENERAL PARA EL DISEÑO Y LA GESTIÓN EN LOS NIVELES TÁCTICO Y OPERATIVO DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE LOS RESIDUOS DE LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR	
3.1 Definición de escenarios	21
3.2 Estudio de caso para el Escenario 1	21
3.2.1 Resultados de la aplicación del procedimiento general en la cadena de suministro de los RAC en la Empresa Azucarera “Quintín Banderas”	21
3.2.2 Principales resultados en la cadena de suministro de los RAC en la Empresa Azucarera “Chiquitico Fabregat”	23
3.2.3 Principales resultados en una cadena de suministro de las mieles para la obtención de alcohol	24
3.2.4 Principales resultados en una cadena de suministro del bagazo para la producción de tableros	24
3.3 Estudio de caso para el Escenario 2	24
3.4 Resumen de resultados y beneficios de la aplicación del procedimiento general	25
3.5 Conclusiones parciales	25
CONCLUSIONES GENERALES	25
RECOMENDACIONES	26
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA FUNDAMENTAL UTILIZADA EN LA TESIS	
PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DEL AUTOR SOBRE EL TEMA DE LA TESIS	
ANEXOS	

## INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es una planta capaz de sintetizar carbohidratos solubles y materiales fibrosos a un ritmo que le abre un amplio espectro para la fabricación de cientos de productos. Entre ellos, el azúcar ocupa, hasta la fecha, un lugar primordial debido a que es uno de los componentes más importantes y universalmente utilizados en la dieta humana, pese a esto, desde hace varios años el azúcar de caña viene enfrentando una situación internacional inestable en su comercialización. Por ello, es de interés el desarrollo de una estrategia para incrementar la competitividad de esta industria, que ha incluido como acción fundamental su diversificación mediante el uso integral de la caña de azúcar, como materia prima para la obtención de un número elevado de derivados y subproductos.

Lo anterior, ha provocado que en la actualidad, el Ministerio del Azúcar en Cuba (MINAZ) esté sometido a un proceso de cambios y transformaciones, el cual está influenciado por factores internos y externos. Dentro de los primeros se destaca el alto costo de producción de la tonelada de azúcar y entre los segundos, la disminución generalizada de su consumo. Esto último, dado en parte por la presencia de los edulcorantes en el mercado internacional, que ya asciende a un 25 % del mercado total.

Estos cambios y transformaciones se manifiestan en el proceso de redimensionamiento de la industria azucarera cubana, el cual se conoce por el nombre de Tarea “Álvaro Reynoso”, cuyos objetivos fundamentales son acelerar el incremento de los ingresos netos generados y disminuir los costos de producción [MINAZ, 2002].

Como respuesta a esta estrategia, el MINAZ ha proyectado, como visión a corto plazo, ser competitivo y eficientes en la fabricación de azúcares y sus derivados [GE-MINAZ-VC, 2002]. Esto implica la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar, la cual ha sido definida por Horta Nogueira et al. [2000] como: “un sistema flexible, capaz de reaccionar variando la correlación entre los volúmenes fabricados de cada producto, a fin de operar siempre en el rango de máxima ganancia”.

En Cuba, el término diversificación ha sido empleado como un mecanismo que contribuye al avance económico, desde los primeros años del triunfo revolucionario. El Comandante Ernesto Guevara de la Serna fue uno de sus precursores, al referirse primeramente a la diversificación de la agricultura, luego a la diversificación del comercio exterior, y por último a la diversificación de la caña de azúcar [Soto Valdespino, 1998]; al respecto señalaba: “Tenemos, además, esa riqueza extraordinaria que es la caña de azúcar, la capacidad de convertir toda la caña de azúcar en una industria química del azúcar, que sería una fuente de riqueza inagotable...”

Estas palabras, en el proceso actual de reestructuración del MINAZ tienen una enorme vigencia, pues coinciden plenamente con el Programa de Desarrollo de los Derivados de la Industria Azucarera 2004 – 2008 [MINAZ, 2003], el cual tiene como objetivo fundamental, en su primera etapa, reestructurar la industria azucarera y ampliar la diversificación obteniendo derivados de mayor valor agregado y de mejor acceso a diversos mercados. Para esto, se prioriza la obtención de azúcares, energía, alcoholes, tableros, entre otros.

Lo anterior, según Gálvez Taupier [1996] y González Suárez [2003], presupone la asimilación de los adelantos de la ciencia y la técnica, tanto nacionales como internacionales, junto a un notable esfuerzo innovador y a una ardua labor de transferencia de tecnología, la cual entre otras cosas, posibilita la evaluación económica de la diversificación en las empresas azucareras, en su aspecto energético; demostrándose que es posible incrementar el valor agregado de la producción en su conjunto, ya que se puede producir entre 9,5 y 12,7 t de petróleo equivalente por hectárea y entre 70 y 80 L de alcohol por cada tonelada de caña que se procese, representado por los residuos agrícolas cañeros, bagazo, biogás y alcohol [Valdés Delgado et al., 2000; Rizzo Pastor, 2001]. Todo lo anterior, constituye una vía para apoyar el proceso de perfeccionamiento empresarial que se realiza, hoy día, en las empresas cubanas,

el cual tiene como objetivo fundamental lograr un adecuado nivel de eficiencia y eficacia en la gestión empresarial y en este caso, del sector azucarero [CC-PCC, 1998].

Una de las razones fundamentales que justifican lo anterior, según Mesa Oramas & González Penichet [2003], es el desarrollo de una amplia industria de derivados, que a su vez potencie el despegue de este sector y de otras ramas de la economía nacional.

En esta interacción, es precisamente donde se enmarca la logística, la cual, entre otras cosas, debe garantizar un flujo material estable y racional entre la obtención de los residuos y su aprovechamiento industrial.

Hoy día, el término logística está muy difundido en la literatura, encontrándose desde definiciones muy generales hasta definiciones muy particulares [Ballou, 1991; GCP, 1993; Coma Pullés, 1996; Santos Norton, 1996; Matos Rodríguez, 1997; Gómez Acosta, 1997; Transporte & Log, 1999; Tompkins, 2000; Gómez Acosta & Acevedo Suárez, 2001; IEFP-ISQ, 2001; Paul i Cos et al., 2001; Quam, 2001; Torres Gemeil et al., 2003; CSCMP, 2005]. Los elementos comunes de las mismas están dados por el movimiento o traslado desde un proveedor u origen hasta un cliente o destino y la presencia de flujos materiales, informativos y en ocasiones también, los financieros.

El flujo material de los residuos posee particularidades que deben ser estudiadas para lograr el diseño y la gestión de sus cadenas de suministro, buscando racionalidad, integralidad y efectividad. Estas variables posibilitan la aplicación de las filosofías de gestión logística<sup>1</sup>, las cuales han llegado, incluso, a permitir la integración de varias organizaciones que persigan objetivos comunes para lograr la satisfacción de los clientes finales, facilitando así la toma de decisiones tácticas y operativas en los marcos de la cadena de suministro.

Varios autores consultados [Kopicki et al., 1993; Stock, 1998; Carter & Ellram, 1998; Schwartz, 1999; Daugherty & Ellinger, 2001; Barbosa et al., 2002; Meade & Sarkis 2002; Tibben-Lembke, 2002; ASLOG, 2002; Ortega Mier, 2003; Trigueiro, 2003; CSCMP, 2005] coinciden en plantear que la logística inversa es el papel de la logística en el retorno de productos, el reciclado, la sustitución y/o reutilización de materiales, así como en la restauración, recuperación y reprocesamiento. Sin embargo, la mayoría de los casos prácticos consultados en la literatura nacional e internacional [Matos Rodríguez, 1997; Blumberg, 1999; Barbosa et al., 2002; CLM-UN, 2002; Sarian, 2002 |a|; Tibben-Lembke, 2002], se orientan hacia la industria automovilística, la industria de equipos eléctricos y electrónicos, y en los envases y embalajes, entre otras; por lo que la aplicación de este enfoque en los residuos agroindustriales de la caña de azúcar es un tema poco tratado hasta el momento. A ello se le añade el hecho, de no existir coincidencias entre los mencionados autores respecto a si todo residuo puede ser tratado bajo un enfoque de logística inversa.

Para garantizar su diversificación energética, la industria azucarera cubana cuenta anualmente con grandes reservas de biomasa residual cañera, la cual entre otros usos, puede destinarse a la satisfacción de las necesidades energéticas de las fábricas de azúcar, de derivados y contribuir a la entrega de energía eléctrica al Sistema Electroenergético Nacional (SEN).

Esta biomasa residual la componen el bagazo y los residuos agrícolas cañeros<sup>2</sup>. Estos últimos se definen como el conjunto formado por las hojas secas, las hojas verdes y el tallo verde del cogollo, todo lo cual, comúnmente en Cuba, recibe el nombre de “paja” de caña, pudiendo llegar a obtenerse de los mismos más de 150 000 t de *fuel oil* equivalente por cada millón de toneladas de azúcar que produzca o por cada diez millones de toneladas de caña que procese. [Pérez Eguisquiza, 1998].

Actualmente la utilización de los RAC con fines energéticos en las empresas azucareras del país no está generalizada, ya que depende de ciertos factores. Entre estos se destacan: ausencia de una estimulación económica, uso alternativo de los portadores, costos de

---

<sup>1</sup> Término que incluye la gestión del transporte interno y externo, el almacenamiento, la manipulación de materiales, la gestión de pedidos y la gestión de inventario, entre otros elementos [CSCMP, 2005].

<sup>2</sup> En lo adelante se utilizarán las siglas RAC para referirse a los Residuos Agrícolas Cañeros.

obtención, valores de inversión inicial, cultura tecnológica, efecto en el medio ambiente y la resistencia al cambio [Rubio González et al., 1995; Pérez Egusquiza, 2003]. Si a esto se le añade su baja densidad, lo cual implica la necesidad de manejar grandes volúmenes para su abastecimiento, la generalización de su empleo se hace más difícil.

No obstante, existen empresas que han llegado a producir tanto el azúcar refinado como el alcohol sin consumir *fuel oil*, y otras que han logrado liberar bagazo para sus plantas de fabricación de tableros, aunque no de forma estable. Estas acciones coinciden con la política actual del país de contribuir al ahorro de combustibles fósiles y a mejorar la gestión ambiental, concebida en las orientaciones de la Resolución Económica del V Congreso del Partido Comunista de Cuba [PCC, 1997]. Por otra parte, se debe resaltar lo aportado en la investigación de Castillo Coto [2000] relacionado con las decisiones a nivel estratégico en el abastecimiento de los RAC para su utilización con fines energéticos, lo cual aún mantiene su vigencia ante los cambios estructurales actuales del sector. Todo lo anterior, hace necesario el estudio de la cadena de suministro para el reciclaje de los RAC en los niveles táctico y operativo, el cual contribuya al empleo eficiente de los mismos.

Una de las primeras acciones, dentro del proceso de reestructuración del MINAZ, fue la desactivación de algunas empresas azucareras que no eran eficientes en la producción de azúcar, pero en varios casos, las mismas estaban vinculadas directamente a plantas de la industria de los derivados, lo cual aunque aparentemente parece contradictorio es una realidad. Como ejemplos de lo anterior, se destacan algunas destilerías y plantas para la fabricación de tableros aglomerados que perdieron su principal proveedor o los proveedores habituales<sup>3</sup>. Esto ha traído como consecuencia la elevación de los costos de fabricación, influenciados directamente por la ausencia de decisiones logísticas en las nuevas cadenas de suministro que surgen para el reciclaje de las mieles y el bagazo respectivamente.

Todo lo anterior caracteriza la situación problemática que originó la presente investigación, cuyo **problema científico** se resume como **la no existencia de un modelo con su procedimiento general para el diseño y la gestión de la cadena de suministro de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar en los niveles táctico y operativo que permita una integración, coordinación y racionalidad en los procesos logísticos buscando elevar su desempeño, además de los beneficios ambientales, económicos y sociales que se derivan del empleo de estos residuos en los marcos de la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar.**

Por tanto, si se estudian las combinaciones de los procesos logísticos en la cadena de suministro de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar para lograr integración, coordinación y racionalidad en la misma empleando un indicador integral que permita evaluar su desempeño, el cual responda a menores gastos en la cadena, mejor control sobre la gestión ambiental, mejor utilización de las instalaciones y los recursos y a la satisfacción del nivel de servicio al cliente demandado, se le puede dar respuesta a este problema científico.

En correspondencia con ello, se plantea la **hipótesis de investigación** siguiente: **si se implementa un modelo con su procedimiento general para el diseño y la gestión de la cadena de suministro de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar en los niveles táctico y operativo que permita elevar su desempeño medido a través de un indicador integral, se contribuye a la diversificación de la industria azucarera y a la disminución del consumo de combustibles fósiles.**

Esta hipótesis quedará validada si al diseñar y gestionar la cadena de suministro de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar en los niveles táctico y operativo, siguiendo el modelo y procedimiento propuesto, se logra una planificación integrada de los procesos logísticos y una elevación del nivel de desempeño de la cadena al realizarse la implantación

---

<sup>3</sup> Son las empresas azucareras que sistemáticamente abastecen de residuos a las industrias de derivados independientemente del principal proveedor.

parcial o total del procedimiento propuesto, mostrando un comportamiento superior del indicador integral desarrollado, lo cual contribuye a diversificar las producciones de la industria azucarera a partir de sus residuos.

Esta disminución del consumo de combustibles fósiles puede estar dada por su no empleo en la generación y/o cogeneración de energía eléctrica, así como en los procesos de producción del alcohol u otros subproductos, llegando incluso al ahorro de las reservas nacionales y contribuyendo a la protección del medio ambiente a partir de su sustitución, y en este sentido también se validará la hipótesis.

Es por esto, que el **objetivo general** de la investigación es **elaborar un modelo conceptual con su procedimiento general para el diseño y la gestión en los niveles táctico y operativo de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar**. De este, se derivan los **objetivos específicos** siguientes:

1. Construir el marco teórico - referencial de la investigación, a partir de la consulta de la literatura científica internacional y nacional más actualizada, principalmente sobre las temáticas: diseño y gestión de las cadenas de suministro, las filosofías de gestión y su vinculación con las decisiones logísticas, aplicación del enfoque logístico en los residuos agroindustriales de la caña de azúcar seleccionados para esta investigación.
2. Elaborar un modelo conceptual con su procedimiento general que permita, en los niveles táctico y operativo, el diseño y la gestión de la cadena de suministro de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar, conjugando todos los factores que contribuyen a su desempeño estable y coordinado a partir de las decisiones estratégicas previstas.
3. Elaborar procedimientos específicos que complementen el procedimiento general para la evaluación de la significación de los impactos ambientales, la proyección del nivel de servicio al cliente en los niveles táctico y operativo, el diseño del flujo informativo y la planificación de la cadena de suministro en los niveles de gestión citados.
4. Validar los resultados mediante la aplicación del procedimiento en varias cadenas de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar del país.

Para cumplimentar dichos objetivos el trabajo se estructuró en tres capítulos:

Capítulo 1: Marco teórico – referencial de la investigación.

Considerando la estrategia elaborada para su construcción se conjugaron los factores y elementos que sirven de fundamentos teóricos a la presente investigación, en los temas mencionados anteriormente.

Capítulo 2: Modelo conceptual y procedimiento general para el diseño y la gestión de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar.

Se fundamenta el modelo conceptual y se explica como proceder en cada una de las ocho etapas que conforman el procedimiento general. También se exponen los procedimientos específicos y las herramientas empleadas en el mismo.

Capítulo 3: Aplicación del procedimiento para el diseño y la gestión en los niveles táctico y operativo de las cadenas de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar.

Se aplica el procedimiento general en dos escenarios, uno que responde a la posibilidad de mejorar el desempeño de cadenas de suministro existentes, y otro que incluye nuevos diseños.

Para dar solución al problema científico planteado, se requiere del empleo de métodos que respondan a estas exigencias; entre los aplicados en esta investigación se destacan los siguientes:

**Métodos generales:** El método **hipotético-deductivo**, para la elaboración de la hipótesis general de la investigación y para proponer las medidas a adoptar en la elevación del nivel de desempeño de la cadena de suministro; el método **sistémico**, para lograr el funcionamiento armónico y coordinado de toda la cadena de suministro; el método **dialéctico**, para el estudio crítico de las investigaciones precedentes, tanto en Cuba como en el extranjero, tomadas

como punto de partida para alcanzar un nivel superior en las cadenas de suministro diseñadas y gestionadas a partir de los resultados obtenidos.

**Métodos lógicos:** El método **analítico-sintético**, al detallar cada proceso logístico de la cadena por separado, para luego sintetizarlos en los marcos de la cadena de suministro mejorada; el método **idealización-modelación**, al argumentar que el modelo conceptual propuesto es el que más se ajusta a la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar.

**Métodos empíricos:** El método **coloquial** para la presentación y discusión de los resultados en sesiones científicas; los métodos de la **entrevista** y la **observación** para obtener los problemas presentes en las cadenas estudiadas; el método **experimental** para comprobar la utilidad de los resultados obtenidos a partir del procedimiento definido y los métodos de **expertos** para la validación de las deficiencias actuales de la cadena de suministro.

**Métodos matemáticos:** los métodos **estadísticos no paramétricos** para las pruebas de hipótesis formuladas al validar criterios de expertos y los métodos de **Investigación de Operaciones** (método de Programación Lineal para la optimización del proceso de transportación, las comparaciones pareadas del método de las Jerarquías Analíticas para la determinación del indicador integral que permite medir el desempeño de la cadena de suministro).

Por último, deben destacarse los **aspectos novedosos** de esta investigación, dados por:

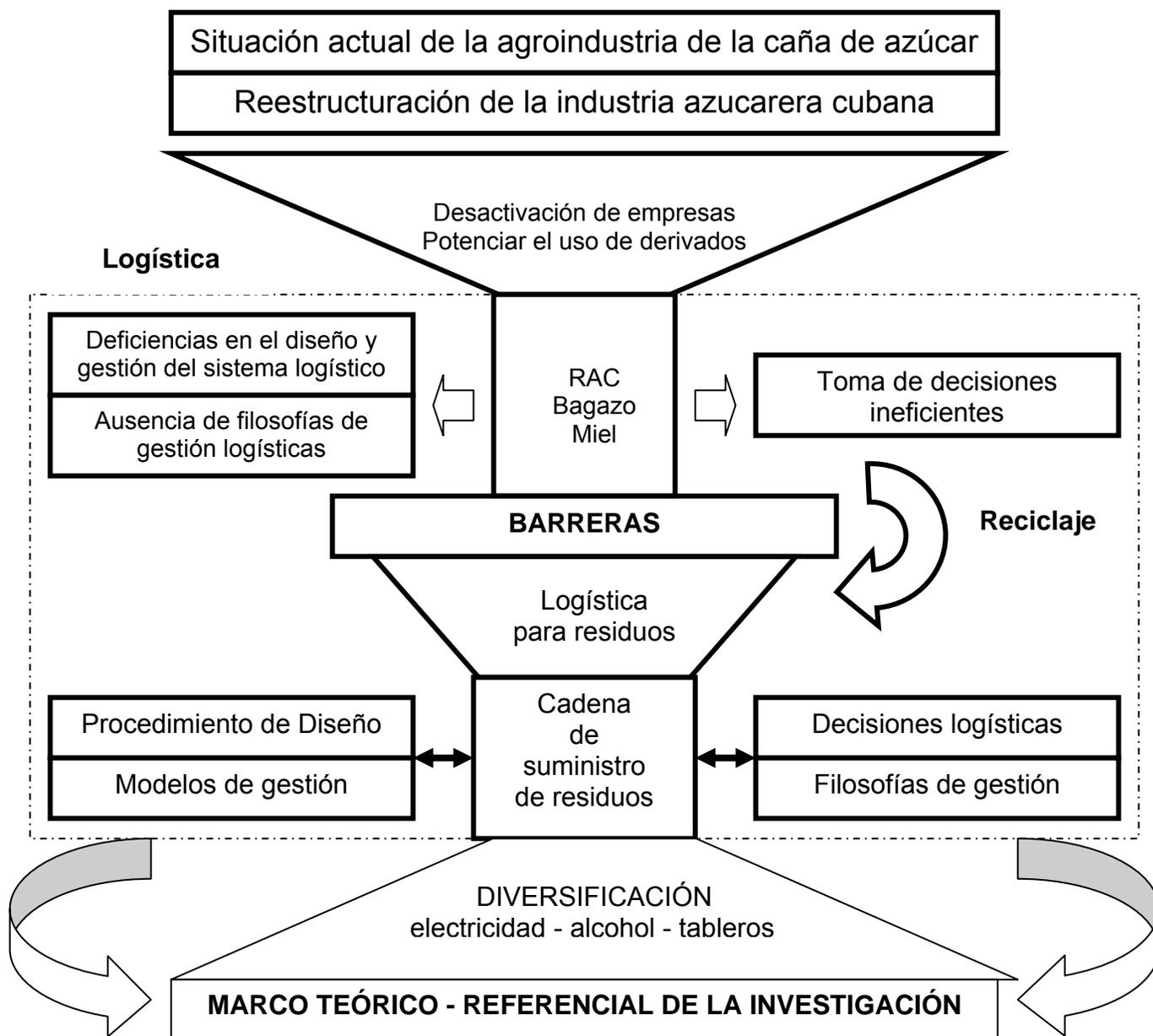
- Un modelo conceptual y un procedimiento general para el diseño y la gestión, en los niveles táctico y operativo, de la cadena de suministro de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar que conjugue las decisiones estratégicas con las tácticas y operativas, a través de los diferentes factores que influyen en el desempeño de los procesos logísticos de la cadena, permitiendo comparar el estado actual con el mejorado, evaluando y controlando su desempeño a través de un indicador integral.
- Los procedimientos específicos y las tablas de ayuda para la clasificación de las decisiones logísticas que apoyan al procedimiento general, donde resalta el relacionado con la planificación de la cadena de suministro.
- La evaluación del desempeño de la cadena de suministro de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar empleando el indicador propuesto Nivel de Desempeño de la Cadena de Suministro (NDCS), el cual prevé la integración de criterios relacionados con los costos logísticos, la utilización racional de los recursos e instalaciones, la calidad y disponibilidad de los residuos, el medio ambiente y el nivel de servicio al cliente.

## **CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO – REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN**

En este capítulo se exponen los resultados de un estudio amplio y minucioso de estas temáticas, siguiendo la estrategia mostrada en la *figura 1.1*, la cual se corresponde con el hilo conductor del marco teórico-referencial de la presente investigación.

### **1.1 Características actuales de la agroindustria de la caña de azúcar. Necesidad de la diversificación. Clasificación y situación actual de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar**

A pesar de las causas del comportamiento inestable de los precios en el mercado mundial comentadas por diferentes autores [GE-MINAZ-VC, 2002; Rizzo Pastor, 2002; Mesa Oramas & González Penichet, 2002 & 2003; Aguilar, 2003] en varios países, como son los casos de Brasil y Colombia por citar dos ejemplos en la Región de América del Sur, se producen nuevas inversiones en tecnología, ampliación de capacidades y se incrementan las exportaciones.



**Figura 1.1: Estrategia seguida para la construcción del marco teórico – referencial de la investigación [Fuente: Elaboración propia].**

Esto está dado fundamentalmente por la necesidad de la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar, en la cual se contraponen el enfoque de derivados y el de la energía. Ambos se pueden balancear perfectamente por medio de las alternativas de producción de una fábrica de azúcar diversificada [ICIDCA, 2000], mediante las cuales se contribuye a la generación de electricidad y el uso de residuos para otros fines.

La clasificación de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar objetos de estudio en la presente investigación establece que los **RAC** son clasificados como los residuos sólidos agrícolas obtenidos en los centros de beneficio y reciclados para la producción de energía eléctrica; el **bagazo** es considerado como un residuo sólido industrial obtenido en la molienda de la caña de azúcar y reciclado para las producciones industriales de tableros y las **mieles** son un residuo industrial líquido obtenido en el proceso de fabricación del azúcar y de utilización directa en la industria química para la producción de alcohol. Es importante aclarar, que todos

ellos están declarados como productos priorizados en el Programa de Desarrollo de los Derivados de la Industria Azucarera 2004 – 2008 [MINAZ, 2003] y que en su conjunto representan el 35 % del total de residuos de la caña de azúcar. A continuación se hará referencia a la situación actual de éstos, incluyendo sus implicaciones ambientales.

### **1.1.1 Beneficios ambientales y situación actual del uso de los RAC con fines energéticos**

En Cuba, la gestión ambiental es regida por la Ley 81 sobre el Medio Ambiente, la cual plantea en su artículo 127 que: “el Ministerio del Azúcar, el Ministerio de la Agricultura y el Ministerio de la Industria Básica, oído el parecer del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente y demás órganos y organismos competentes, establecerán estrategias para el aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía y otras alternativas tecnológicas, tendentes al uso eficiente de las fuentes de energía y a la disminución de la contaminación ambiental” [ANPP, 1997].

Es por esto, que en los proyectos de generación y/o cogeneración o de empleo del calor de la biomasa, el impacto ambiental debe ser analizado desde los factores o puntos de partida establecidos por autores como Vana [2000]; Waldheim et al. [2000]; Cruz Fonticiella, Knudsen González et al. [2001] y que son: emisiones de gases a la atmósfera, derrame de los desechos sólidos, implicaciones económicas y sociales, entre otras. Estos factores forman parte de las llamadas estrategias de logística medioambiental (verde), las cuales serán detalladas más adelante.

Relacionado con los impactos ambientales de la biomasa cañera se estableció que en su cultivo son por lo general negativos; sin embargo en su empleo con fines energéticos son positivos, dadas las características de portador de energía renovable que tiene la biomasa cañera [Rubio González et al., 1999; Knudsen González, 2000].

Aunque en Cuba existen diferentes tipos de biomasa, en la presente investigación sólo se hará referencia a los RAC, definidos en la introducción de esta Tesis Doctoral y que según el criterio de diferentes autores, tales como Fernández [2000], Prieto et al. [2000] y Martinetti [2003] pueden ser clasificados como una biomasa primaria residual agrícola, la cual se origina a partir de la cosecha de la caña de azúcar.

Autores como González Alonso [1982]; Pérez Egusquiza [1990] y Nieblas Armas & Rubio González [1990] han demostrado que los RAC tienen mayor valor calórico que el bagazo. Esto implica que su aprovechamiento como portador de energía renovable en la economía cubana es una posible solución energética ante los problemas comerciales de los combustibles fósiles, además de los beneficios tanto económicos como ecológicos que se obtienen en su utilización. No obstante a esto al extenderse su utilización con fines energéticos, se manifiestan algunas deficiencias en el orden técnico económico, las cuales pueden llegar a convertirse en desventajas. Como la más significativa se destaca, el bajo desempeño en la cadena de suministro de este residuo, dado fundamentalmente en los procesos logísticos que incluye la misma.

### **1.1.2 Situación actual de la producción de tableros aglomerados de bagazo**

Según el criterio de los autores consultados [Hugot, 1980; Suárez Rodríguez et al., 1982; Herryman & Alfonso, 1990; ICIDCA, 2000] el bagazo se considera un residuo lignocelulósico fibroso remanente de los tallos de caña, el cual es obtenido a la salida del último molino del tándem azucarero y constituye un conjunto heterogéneo de partículas de diferentes tamaños que oscilan entre 1 y 25 mm; siendo su componente estructural más importante, y que a la vez decide su utilización en la industria de los derivados: la fibra, que representa aproximadamente entre un 45 y 48 % de su contenido.

Los tipos de tableros aglomerados que más se producen en Cuba son: de fibra (en inglés *Hardboard*) y de partículas (en inglés *Waferboard*).

El decrecimiento de la producción en las fábricas de tableros de bagazo, según Molina Mancebo [2003] ha estado influenciado por los factores siguientes: encarecimiento del bagazo

sustituido por el incremento en los precios del petróleo, directiva del MINAZ de utilizar solamente bagazo sobrante para las empresas azucareras, prioridades de generación eléctrica con bagazo sobrante, falta de un mecanismo financiero que incentive su venta a las fábricas de tableros de bagazo y desactivación de algunos centrales directamente vinculados a plantas de derivados.

Esta última causa crea la necesidad de diseñar y gestionar la cadena de suministro de este residuo para su utilización en las fábricas de tablero ya que a pesar de que la demanda actual de bagazo se logra satisfacer con el 47 % de la disponibilidad, no siempre se selecciona la variante más económica desde el punto de vista de la transportación, lo cual confirma la necesidad de un desempeño adecuado de estas cadenas de suministro.

### **1.1.3 Estado actual del empleo de las mieles para la obtención de alcohol**

Actualmente la producción de alcohol a nivel mundial tiende a elevarse. Un ejemplo de lo anterior lo constituye Brasil, país que tiene una experiencia de más de 20 años en la producción de alcohol carburante a partir de la caña de azúcar; llegando a rendimientos de más de 80 L/t de caña, con costos inferiores a los 0,20 USD/L, pudiendo producir anualmente hasta 14,4 billones de metros cúbicos de alcohol en más de 300 instalaciones disponibles [Rodríguez Ramos, 2004].

Al igual que los RAC y el bagazo, las mieles de la industria azucarera se consideran un residuo perteneciente al grupo de sustratos y son utilizadas para la obtención de alcohol etílico por vía de la fermentación. Dentro de este grupo, también se incluye el jugo de caña, los residuos lignocelulósicos, el jugo de los filtros, el jugo diluido, así como también puede hablarse del mosto de destilería del propio proceso fermentativo [Pérez Bruffao, 1997; Pajón Poblet et al., 2002].

Según Oquendo Ferrer et al. [2002] las posibilidades de desarrollo de la industria alcoholera cubana se fundamenta en la reanimación de la industria azucarera, lo cual permite aumentar las disponibilidades de miel final; el mejoramiento de las tecnologías existentes que posibiliten incrementar los rendimientos (emplear otros residuos de la caña, como es el caso del bagazo); la tradicional calidad del ron cubano y su mercado internacional. Este desarrollo está sujeto a la solución de la principal debilidad relacionada con el alto costo de adquisición de las mieles, planteada por este mismo autor, donde los gastos de la actividad de transporte tienen una influencia significativa; demostrándose así, la necesidad de resolver el problema científico planteado en esta investigación, para lo cual se debe diseñar y gestionar el sistema logístico.

## **1.2 Diseño y gestión de los sistemas logísticos**

Dada la necesidad de integración que impone la logística, el enfoque sistémico se convierte en una valiosa concepción de trabajo, ya que no es posible hablar de la logística como un elemento de trabajo, sino como un sistema de actividades [Gómez Acosta & Acevedo Suárez, 2001 |a|].

La palabra logística engloba todos los procesos y operaciones necesarias para que el consumidor pueda tener en sus manos un producto en las condiciones en que lo desea, dónde y cuándo lo necesita, a un precio que está dispuesto a pagar. Considerando lo anterior, el autor de esta investigación define los **sistemas logísticos** como **el conjunto relacional e integrado de estructuras orgánicas, recursos, procedimientos, medios y métodos que permiten desarrollar la función logística en las organizaciones.**

Aunque en Cuba el precursor del enfoque en sistema de la función logística fue Comas Pullés [1996], muchos autores en sus trabajos lo han enmarcado ya sea de una forma parcial o total. Estos son los casos de Santos Norton [1996]; Matos Rodríguez [1997]; Knudsen González, et al. [1998]; Hernández Milián et al. [1998]; Castillo Coto [2000]; Marrero Delgado [2001] y González González [2002].

En los últimos años, varios han sido los autores e instituciones [Centro Español de Logística, 1993; Sahid, 1998; Gómez Acosta & Acevedo Suárez, 2001; Cespón Castro & Auxiliadora, 2003; Torres Gemeil et al., 2003; CSCMP, 2005] que han definido la logística. Al conjugar los aspectos que abordan estas definiciones, el autor de esta investigación decidió adoptar la siguiente: **“logística es aquella parte de la gestión de la cadena de suministro que planifica, implementa y controla el flujo y almacenamiento eficiente de bienes, servicios e información desde el punto de origen hasta el punto de consumo para añadir valor al cliente con elevada competitividad y garantizando la preservación del medio ambiente”**. Los procedimientos encontrados en la literatura científica consultada para el diseño completo de sistemas logísticos o de cadenas de suministro se han desarrollado con cuatro enfoques. En el *anexo 1* se exponen los criterios del autor de esta investigación con relación a los aspectos positivos y negativos de cada enfoque, resaltando que ninguno de ellos incluye un modelo conceptual que contribuya al diseño y la gestión de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar en los niveles táctico y operativo.

### 1.2.1 Filosofías de gestión de los sistemas logísticos

Los sistemas de gestión logísticos acometen la tarea de reducir los tiempos de ejecución de las actividades del sistema y los niveles de inventario que se generan en el mismo. Entre los más conocidos y que son de interés para la presente investigación se destacan: el Sistema tradicional, la Planificación de las Necesidades de Distribución (en inglés *Distribution Requirement Planning: DRP*) y la Gestión de la Cadena de Suministro (en inglés *Supply Chain Management: SCM*). Es importante aclarar que en la interacción DRP-SCP (en inglés *Shipping Capacity Planning: SCP*) se logra el llamado *DRP II*, denominado así por Domínguez Machuca [1998].

Al comparar el *DRP* con el enfoque tradicional se puede afirmar, que constituye una estrategia de avanzada ya que analiza todos los implicados en la cadena de suministro como un todo único, resultando menos costoso, más coherente en el enfoque logístico y no requiriendo de grandes inversiones en equipos.

La gestión de la cadena de suministro ha emergido en la actualidad como una nueva etapa de la gestión logística de las empresas. Al respecto varios autores, entre ellos Cooper et al. [1993 & 1997], Lambert et al. [1998], Christopher [1999], Clarkston [2000], Donovan [2000], Cespón Castro & Auxiliadora [2003], coinciden en plantear que tiene características básicas que las diferencian de otros sistemas de gestión logísticos, las cuales se pueden resumir en un grado superior de integración del desarrollo histórico de la logística.

Las definiciones de gestión de la cadena de suministro encontradas en la literatura científica [Cooper et al., 1997; Global Supply Chain Forum, 1998; Mentzer et al., 2001; Acevedo Suárez et al., 2001; CSCMP, 2005] presentan como aspecto común y característico de las mismas: la integración.

Algunos de los **modelos de gestión para cadenas de suministro** consultados en la literatura científica son:

- a) Modelo de tres estados [Scout & Westbrook, 1998]
- b) Modelo de referencia operacional para una cadena de suministro tradicional [Martin & Roth, 2000 |b|]
- c) Modelo Conceptual para la gestión de la cadena de suministro [Mentzer et al., 2001]
- d) Modelo de referencia del proceso [Supply Chain Council, 2001]
- e) Modelo organizativo [Acevedo Suárez et al., 2001]

Es de destacar que ninguno de ellos se ajusta completamente a la gestión de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar ya que están concebidos por lo general para el nivel estratégico en cadenas de suministro directas. Esto difiere de la presente investigación que se realiza para cadenas de suministro de reciclaje en los niveles táctico y operativo. Por otra parte, estos modelos, de forma parcial o total, responden a las

tendencias modernas de la filosofía gestión de la cadena de suministro, entre las que se destacan:

1. La integración de la cadena de suministro.
2. Las cadenas de suministro electrónicas (e- cadenas de suministro).
3. La planificación de los recursos empresariales (en inglés Enterprise Resource Planning: ERP).

Durante el funcionamiento de las cadenas de suministro enmarcadas en los sistemas logísticos se debe lograr la toma de decisiones oportuna y eficiente, de acuerdo a los procedimientos establecidos para cada actividad. Estas son las llamadas decisiones logísticas, las cuales serán objeto de estudio en el epígrafe siguiente.

### **1.2.2 Las decisiones logísticas en el diseño y la gestión de los sistemas logísticos**

El proceso de toma de decisiones logísticas, a diferencia de este proceso en otras disciplinas [Asencio García, 1994], debe llevar implícito dos aspectos básicos. El primero está dado por la necesidad de establecer los llamados niveles de decisión, los cuales permiten que cierta decisión pueda ser adoptada a nivel estratégico, táctico u operativo. El segundo aspecto básico encierra las decisiones logísticas por áreas, las cuales permiten un acercamiento a la meta establecida en función de los objetivos deseados por la organización. Con relación a esto último, Ballou [1991] estableció las áreas de nivel de servicio, política de inventario, ubicación de los puntos de origen y destino y la selección de los medios de transporte.

Existen otros autores [Castillo Coto, 2000; Marrero Delgado, 2001; González González, 2002] que aunque no las llaman decisiones logísticas, han adoptado las mismas solamente en función de los niveles de decisión, fundamentalmente a nivel estratégico. En particular, es de destacar el desarrollo de un sistema logístico de abastecimiento de paja de caña como combustible a nivel estratégico elaborado por Castillo Coto [2000].

Independientemente de la decisión que se trate y del nivel donde se enmarque, para poder obtener de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar los productos y subproductos mencionados anteriormente, se necesita una integración del diseño y la gestión de su desempeño como una cadena de suministro con un enfoque logístico al caso de los residuos, que permita el aprovechamiento de estos en la industria de derivados de la caña de azúcar y la satisfacción de los clientes finales de la cadena.

### **1.3 Aplicación del enfoque logístico al caso de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar. Implicaciones ambientales**

En los últimos años la aplicación de este enfoque ha sufrido transformaciones, dadas por la importancia que la gestión de los residuos tiene en las cadenas de suministro donde se generan los mismos.

Hoy día, estas transformaciones la literatura científica consultada las agrupa en tres términos, los cuales a la vez pueden ser considerados **tendencias del enfoque logístico al caso de los residuos**. Estas son: la **logística del reciclaje**, la **logística inversa** y la **logística verde**.

Entre los elementos comunes de las tres se destacan la presencia de los residuos reciclables y las motivaciones que promuevan y justifiquen sus flujos. Según Ortega Mier [2003] y Sarian [2002|a] & 2002|b] estas son: legislativas (a través de directivas, leyes y decretos), económicas (en la mayoría de las empresas se manifiestan en el ahorro al reutilizar los residuos en el proceso productivo, aunque pueden manifestarse en un aumento de los ingresos o una elevación de la competitividad, por dedicarse a gestionar estos flujos), comerciales (para vender o comercializar los residuos), ambientales (a través de la responsabilidad social de las empresas o de las estrategias logísticas verdes).

La **logística del reciclaje** ha sido estudiada por autores, tales como Conejero González [1996], Matos Rodríguez [1997] e Isaac Godínez et al. [2001]. En todos los casos establecen la

nueva utilización que se le dará a los residuos o productos desechados, una vez concluido su ciclo de vida.

La empresa líder del reciclaje en Cuba [ERMP, 1995], lo define como “el proceso que sufre un material para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea este el mismo en que fue generado (reciclaje directo) o de otro diferente (reciclaje indirecto)”. Este último en particular, es el caso de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar, objetos de estudio en la presente investigación.

La **logística inversa** por definición propia [Stock, 1998 & 2001; Poist, 2000; Rogers & Tibben-Lembke, 1998 & 2003; Lacerda, 2002; REVLOG, 2002; PILOT [2003; Torres Gemeil et al., 2003; CSCMP, 2005] en determinados momentos se refiere al reciclaje directo (flujo inverso del producto) y en otros aunque no lo expresan explícitamente, consideran el reciclaje indirecto.

Los modelos estratégicos para la toma de decisiones en sistemas de logística inversa, que contribuyen a elevar la eficiencia en las organizaciones son:

- Modelos basados en la programación matemática y que trabajan con ayuda de las redes de computadoras [Fleischmann et al., 1997 & 2000]
- Modelos de estrategias logísticas marcha atrás en el final del ciclo de vida de los productos (incluye modelos que determinan el punto óptimo a partir de los gastos por contratar servicios de logística inversa y los costos por ejecutar con medios propios estos servicios) [Klausner & Hendrickson, 2000]
- Modelos del valor económico y requerimientos del servicio de reciclaje del mercado potencial: su esencia radica en fundamentar modelos analíticos de apoyo a las decisiones estratégicas de fabricación. [Blumberg, 1999]

De todos estos modelos el que más se ajusta, aunque no en toda su magnitud a la cadena de suministro de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar son los modelos valor económico y requerimientos del servicio de reciclaje del mercado potencial ya que esta cadena parte de la revalorización de los residuos y evalúa las razones que justifican estos flujos.

La **logística verde**, a diferencia de las tendencias comentadas anteriormente, surge por las motivaciones ambientales de los residuos reciclables y no reciclables, pues la misma según Rogers & Tibben-Lembke [1998] se encarga de medir y minimizar el impacto ecológico de las actividades logísticas.

Tomando como punto de partida lo expuesto anteriormente, el autor de la presente investigación define la **aplicación del enfoque logístico al caso de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar como aquella parte especializada de la cadena de suministro que planifica, implementa y controla el flujo directo e indirecto de residuos antes del final de su vida útil para asegurar un uso apropiado del mismo o una recuperación ecológica sostenida.**

Considerando esta definición se puede concluir planteando que en el caso de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar objetos de estudio de la presente investigación se aprecia una mezcla de las tres tendencias del enfoque logístico comentadas anteriormente a través de la cual se reciclan los residuos mediante flujos directos e inversos garantizando su aprovechamiento y contribuyendo a la preservación del medio ambiente.

### **1.3.1 Significación ambiental y experiencias nacionales e internacionales en las cadenas de suministro para el reciclaje de la biomasa cañera con fines energéticos**

Luego de estudiar las experiencias nacionales [LIFE<sup>4</sup>-INEL-IPROYAZ, 1996; Aguilar Pardo et al., 2001 |a| y Castillo Coto, 2000] e internacionales [Projeto BRA/96/G31, 2000; CBT, 1998; López Guzmán & Cruz Rodríguez, 1999; Huisman et al., 2000; Kára & Adamovsky, 2000; Ljungblom, 2002] relacionadas con el reciclaje de la biomasa cañera y de los RAC, se puede

---

<sup>4</sup> Laboratories for Information Food and Energy

plantear que existen amplias perspectivas para el incremento sostenido del uso de los RAC como combustible en Cuba fundamentado por varios factores, tales como [González Alonso, 1982; Rubio González et al., 1999; Pérez Egusquiza, Knudsen González et al., 2002]:

- El uso de los RAC como combustible complementario para sustituir petróleo en la producción de azúcar y sus derivados.
- El interés de las empresas azucareras de generar electricidad durante y después de concluida la zafra, para lo cual necesitan como combustible, no solo el bagazo que puedan ahorrar, sino todos los RAC que puedan almacenar.
- La diversificación de la producción azucarera, planteada como estrategia de la industria azucarera cubana, en su proceso de reestructuración, siendo los RAC una alternativa muy atractiva para concebir la industria azucarera como una industria sucroenergética.
- La condición de biomasa renovable, que hace que su combustión no incremente el efecto invernadero y de hecho contribuya a la preservación del medio ambiente.

Estas perspectivas fundamentan la necesidad de la presente investigación relacionada con el diseño y la gestión de la cadena de suministro de los RAC en su aprovechamiento con fines energéticos.

### **1.3.2 Particularidades de las cadenas de suministro actuales para el reciclaje del bagazo y las mieles hacia la industria**

Al analizar los sistemas logísticos para el reciclaje del bagazo [Suárez Rodríguez et al., 1982; ICIDCA, 2000; Pérez Hernández et al., 2004], el proceso logístico más estudiado ha sido el almacenamiento. Entre las razones que lo justifican están su baja densidad, las pérdidas por almacenamiento, las pérdidas de calidad en la fibra y su humedad.

Los procesos logísticos relacionados con el reciclaje de las mieles para la fabricación de alcohol han sido menos estudiados en la literatura científica consultada. No obstante, en este sentido se destaca el trabajo aportado por Ramil Mesa et al. [2004], donde analiza las estrategias para disminuir los costos de su producción a partir de considerar los gastos de transportación de las mieles. Como aspectos positivos del mismo se pueden señalar: la utilización de la programación lineal como herramienta para la optimización del proceso de transportación y la selección del medio de transporte; mientras que como negativos están: la ausencia de un enfoque logístico (sólo se limita al proceso de transportación), la no planificación del transporte a partir de los resultados de la optimización y la no inclusión del análisis de los niveles de inventario.

En resumen los procesos logísticos para el reciclaje del bagazo y las mieles hacia la industria ha sido menos estudiado al compararlo con los procesos logísticos de los RAC en su utilización con fines energéticos. No obstante, es destacable el caso del almacenamiento del bagazo que cuenta con una tecnología muy bien definida y respaldada por las normas cubanas.

### **1.4 Conclusiones parciales**

Como resultado del estudio del marco teórico - referencial de esta investigación se exponen **siete conclusiones parciales** en la Tesis Doctoral que en resumen expresan lo siguiente.

En la literatura científica consultada se abordan temas relacionados con el diseño y la gestión de sistemas logísticos y otros temas referidos a la evaluación del impacto ambiental en las cadenas de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar. Sin embargo, la conjugación integrada del diseño y la gestión, mencionados anteriormente, utilizando decisiones logísticas en los niveles táctico y operativo combinando sus filosofías de gestión y evaluando los factores críticos del desempeño de estas cadenas, unido a la valoración de la significación de los impactos en los procesos de obtención, manipulación, almacenamiento, transporte y consumo de los RAC, el bagazo y las mieles son temas que aún requieren ser investigados.

También se resaltan las causas de los bajos niveles de desempeño de las actuales cadenas de suministro en estos residuos y la necesidad e importancia del uso de los RAC en la industria azucarera cubana. Todo ello, unido a los problemas comerciales del azúcar en el mercado internacional y a la estrategia del sector azucarero cubano para el próximo quinquenio provoca la necesidad de producir y comercializar estos residuos, evidenciándose así la necesidad de elaborar e implementar un modelo conceptual y un procedimiento general para el diseño y la gestión de sus cadenas de suministro en los niveles táctico y operativo.

## **CAPÍTULO 2: MODELO CONCEPTUAL Y PROCEDIMIENTO GENERAL PARA EL DISEÑO Y LA GESTIÓN EN LOS NIVELES TÁCTICO Y OPERATIVO DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE LOS RESIDUOS DE LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR**

Partiendo del análisis y estudio del marco teórico – referencial de la investigación y de las conclusiones expuestas, quedó evidenciada la necesidad de aportar soluciones al problema científico que la originó. En tal sentido, se propone un modelo conceptual con carácter integrador y un procedimiento general con sus procedimientos específicos asociados, que permiten el diseño y la gestión en los niveles táctico y operativo de la cadena de suministro de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar.

### **2.1 Concepción teórica del modelo conceptual**

El modelo conceptual está conformado por todos los factores que, de una forma directa o indirecta, inciden en el desempeño integral de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar en los niveles táctico y operativo, enmarcados dentro del diseño y la gestión de la misma. En su conjunto estos factores constituyen los **elementos básicos del modelo**, los cuales se dividen en dos grupos: los **elementos básicos estructurales** (las entradas, las transformaciones, las restricciones y las salidas) y los **elementos básicos funcionales** (clientes, proveedores y procesos logísticos).

Al observar la *figura 2.1* se aprecian las **entradas** (ahorro de combustibles fósiles, desactivación de empresas azucareras, necesidad de la diversificación agroindustrial de la caña de azúcar y las decisiones estratégicas medioambientales y logísticas), las **transformaciones** (se dividen en acciones relacionadas con el diseño y la gestión, las cuales deben responder a la misión y objetivos de la cadena de suministro en el logro de un desempeño adecuado al combinar los flujos directos, el reciclaje indirecto de los residuos y los elementos básicos mencionados anteriormente), las **restricciones** (dadas por las decisiones tácticas y operativas que se derivan de las estratégicas, las cuales permiten en primera instancia diseñar el servicio al cliente y en segunda establecer las necesidades de recursos productivos, que deben balancearse para cada proceso de forma racional. También se establecen como horizontes para la planificación en el nivel táctico el año y en el nivel operativo el día) y las **salidas** (evaluación del desempeño a partir del indicador integral Nivel de Desempeño de la Cadena de Suministro – NDCS y su seguimiento y control).

La **principal característica** del modelo conceptual está dada por su **dinamismo** ya que prevé la asimilación de cambios que se puedan manifestar en la cadena, sobre todo en el nivel táctico y en la planificación a nivel operativo.

### **2.2 Fundamentación del procedimiento general**

El procedimiento general para el diseño y la gestión de la cadena de suministro de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar en los niveles táctico y operativo mostrado en la *figura 2.2* se distingue de otras investigaciones realizadas por los **aportes revelantes** siguientes:



Figura 2.1: Modelo conceptual para el diseño y la gestión de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar en los niveles táctico y operativo [Fuente: Elaboración propia].

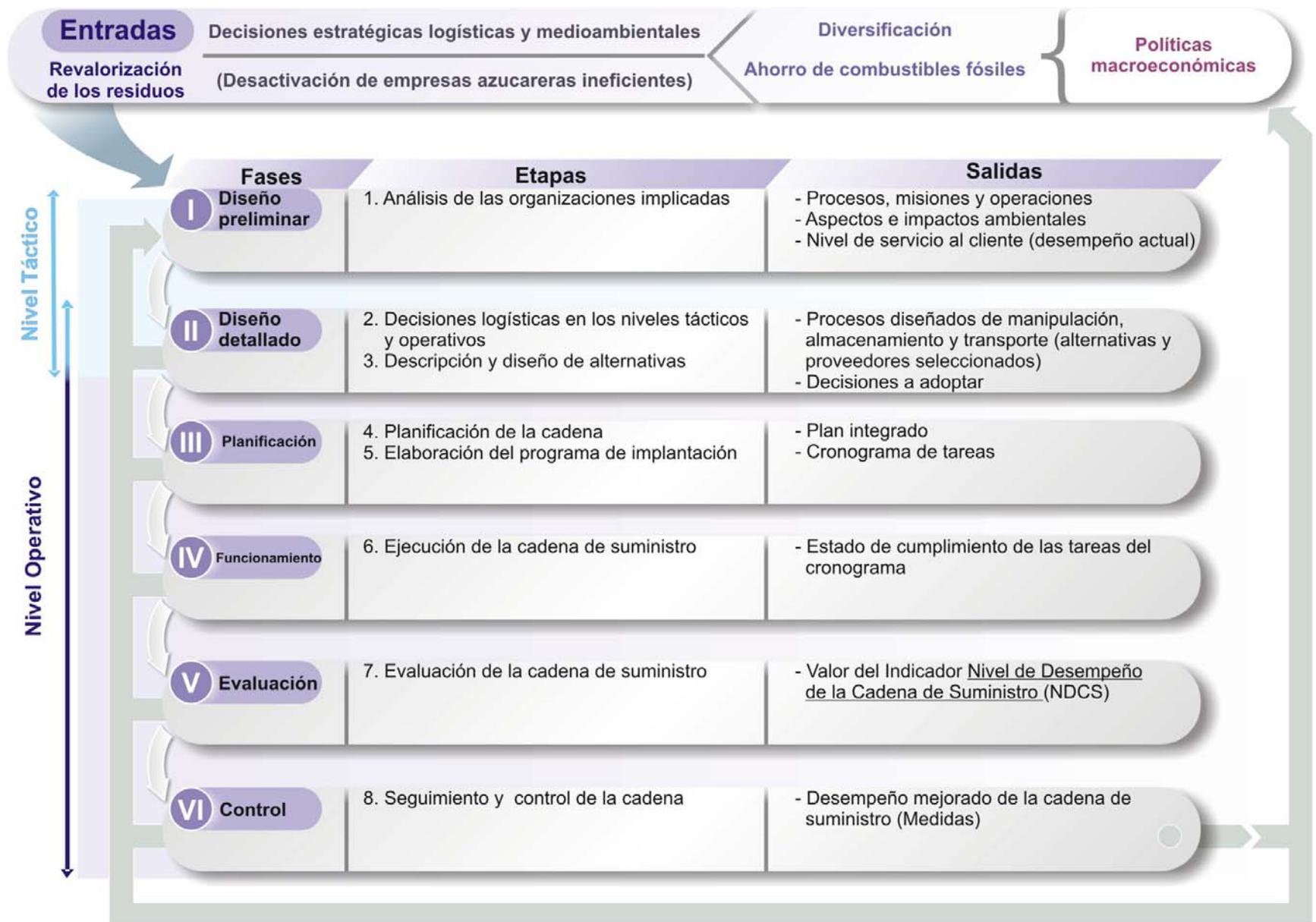


Figura 2.2: Procedimiento general para el diseño y la gestión de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar en los niveles táctico y operativo [Fuente: Elaboración propia].

1. La conjugación en un solo procedimiento del diseño y la gestión en los niveles táctico y operativo de una cadena de suministro.
2. La utilización del *DRP I* y *II* (Planificación de los Requerimientos de Distribución y Planificación de la Capacidad de Transportación) y su adecuación como herramientas para lograr la planificación integrada de los procesos logísticos de la cadena de suministro para el reciclaje directo o indirecto de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar en los niveles táctico y operativo.
3. La identificación de los impactos ambientales y la evaluación de su significación en cada proceso de esta cadena de suministro, durante su funcionamiento.
4. La medición del desempeño de la cadena a través de un indicador propuesto, que mide el Nivel de Desempeño de la Cadena de Suministro (NDCS).
5. Otros aportes contenidos en el procedimiento, obtenidos de los elementos específicos de este tipo de cadena de suministro, que se reflejan en las diferentes decisiones logísticas.

Estos aportes solamente podrán materializarse si se cumple la **filosofía del procedimiento**, la cual plantea que **todos los procesos logísticos para el reciclaje indirecto se diseñan y gestionan de forma integral siguiendo los flujos establecidos en la cadena, los pedidos que se generan en los clientes finales de la misma y el Ciclo de Deming** (como una forma de representar el proceso de solución de problemas: Planificar, Hacer, Comprobar y Actuar), fundamentalmente en las fases relacionadas con la gestión.

El procedimiento se ha estructurado en **ocho etapas** agrupadas en **seis fases**, cada una de las cuales incluye diferentes aspectos (ver *figura 2.2*). En esta se observa que el procedimiento se inicia con la fase de **diseño preliminar**, la cual incluye la etapa de análisis de las organizaciones implicadas, donde se definen los procesos y sus requerimientos operacionales, se diseña el servicio al cliente y se establecen los compromisos de las organizaciones. La segunda fase, abarca el **diseño detallado** de la cadena de suministro, que incluye las etapas: determinación de las decisiones logísticas en los niveles táctico - operativo y la descripción y diseño de alternativas. La tercera fase, está dedicada a la **planificación** de la cadena de suministro; aquí se incluyen dos etapas: la de planificación y la de elaboración de un programa de implantación. La cuarta fase contiene el **funcionamiento**, que consiste en la ejecución de dicha cadena. La quinta fase incluye la etapa de **evaluación** de la cadena de suministro. La última fase, **control**, abarca el seguimiento y control de la cadena. Su esencia radica en controlar el funcionamiento de la cadena de suministro, medido a través de un indicador integral. Por último, dentro de esta fase, también se incluyen las retroalimentaciones que permiten el control de las desviaciones posibles mostradas en el indicador integral, dando la posibilidad de recomenzar la aplicación completa del procedimiento o de parte de este.

Entre las principales **propiedades del procedimiento** se pueden destacar las siguientes: **integración, planificación y control, centralización, mejora continua y flexibilidad**.

Como principales **principios** a cumplimentar en un diseño integrado se plantean los siguientes: **colaboración, conectividad, visibilidad, velocidad, optimización y medición**. Este último adoptando vías o desarrollando herramientas que faciliten la medición del desempeño de la cadena como un todo único.

### **2.2.1 Descripción del procedimiento general y sus procedimientos específicos**

Una de las entradas del procedimiento general es el **Índice de Revalorización**, el cual expresa si existe ventaja económica al utilizar el residuo en la industria para la producción de un subproducto o producto. Es importante destacar, que este índice también permite seleccionar el residuo a reciclar en este tipo de cadena de suministro.

## **Fase I: Diseño preliminar**

### **Etapa 1: Análisis de las organizaciones implicadas**

Esta etapa incluye tres pasos: la definición de los procesos y sus requerimientos operacionales, el diseño del servicio al cliente y la determinación de los compromisos de las organizaciones en la integración de la cadena.

Los procesos logísticos a definir están relacionados con: la manipulación, el transporte interno, el almacenamiento, la transformación y el transporte externo.

Los requerimientos operacionales están dados por la definición de la misión, el despliegue operacional, los requisitos de utilización del sistema y el medio ambiente operacional. Este último permite prestar atención a los impactos negativos que se generan en una cadena de suministro, mediante un **procedimiento específico para la evaluación de la significación de los impactos ambientales en la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar** [Knudsen González et al., 2003]. Los pasos que incluye el mismo son: la selección de las actividades, la identificación de los aspectos e impactos ambientales, la evaluación de la significación de los impactos y el análisis de los resultados (medidas). En estos resultados se toman en consideración elementos de la norma ISO 14001 [NC ISO 14 000: 2001], por lo que deben ser incluidos en la gestión ambiental de la cadena de suministro.

El **diseño del servicio al cliente en los niveles táctico y operativo de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar** se proyectó utilizando un procedimiento específico, el cual incluye los pasos siguientes: caracterización de la cadena de suministro objeto de estudio, recopilación de información, establecimiento de las decisiones estratégicas, selección de los segmentos de mercado objetivo, caracterización de los clientes y estudio de la demanda de servicio del cliente, proyección de la meta y del nivel de servicio a garantizar, diseño de la oferta y promoción del servicio y valoración de la satisfacción de los clientes (medición del nivel de servicio al cliente).

Una vez cumplimentado ese último paso y dependiendo del resultado obtenido, existe la posibilidad de su reiniciar el procedimiento a partir de cambios en las decisiones estratégicas.

Esta proyección tiene implícita características muy particulares que la distinguen con relación a la proyección tradicional del servicio al cliente. Entre estas se destacan:

1. La conceptualización de los principales miembros de la cadena. En una cadena de suministro para el reciclaje indirecto de residuos se deben diferenciar al menos dos tipos de proveedores y dos tipos de clientes ya que en dependencia del residuo objeto de estudio éstos pueden variar. Estos conceptos y su aplicación al caso de los RAC en su utilización con fines energéticos pueden observarse en el *anexo 2*.
2. La irregularidad en las componentes claves del servicio de cada cliente implicado en la cadena de suministro.
3. El interés o la motivación de los proveedores principales por comercializar el residuo. En esto influyen las políticas macroeconómicas a partir de la revalorización de los residuos u otras medidas de carácter estratégico y económico que se adopten.

Una vez concluida la aplicación de este procedimiento específico debe quedar conformada la red logística preliminar de la cadena.

## **Fase II: Diseño detallado**

### **Etapa 2: Determinación de las decisiones logísticas en los niveles táctico y operativo para la integración de la cadena.**

El objetivo fundamental de esta etapa es crear las bases para la posterior determinación de los principales parámetros en la integración de la cadena de suministro. En la *tabla 2.1* se resumen las principales decisiones logísticas relacionadas con los procesos de transporte y almacenamiento.

**Tabla 2.1: Clasificación por niveles y por áreas de las principales decisiones logísticas en procesos de transporte y almacenamiento**

Decisiones Posibles	Áreas				Niveles		
	1	2	3	4	E	T	O
<b>De transporte</b>							
Satisfacer las necesidades (demanda) de transportación.	X				X	X	X
Mejorar el sistema de control de las transportaciones	X				X	X	X
Mejorar la calidad del servicio de transportación	X			X	X	X	X
Disminuir el tiempo de entrega.	X	X	X	X		X	X
Mejorar la utilización de las capacidades existentes.	X			X	X	X	X
Ubicación de los proveedores, clientes y puntos de almacenamiento.		X	X		X	X	
Mejorar la organización de las transportaciones.		X			X	X	
Disminución de los recorridos sin carga.		X	X			X	X
Aumentar el tráfico de carga.	X		X		X	X	
Disminución del costo de transporte			X	X	X	X	X
Selección de la ruta de transporte.			X	X		X	X
Disminución del consumo de combustible.			X	X	X	X	X
Selección de los medios de transporte.				X		X	X
Empleo de vehículos especializados.	X			X	X	X	X
Subcontratación del servicio de transportación.				X	X	X	X
Empleo de medios unitarizadores				X	X	X	X
Selección de los envases y embalajes				X	X	X	X
Determinación de las vías de comunicación	X			X	X	X	
<b>De almacenamiento</b>							
Conservación de los productos.	X				X	X	X
Entrega de pedidos en tiempo.	X			X		X	X
Entrega de pedidos en cantidad y calidad.	X	X		X		X	X
Mejorar el procesamiento de los pedidos.	X	X				X	X
Mejorar la utilización de las capacidades existentes.		X			X	X	X
Ubicación de los puntos de almacenamiento.		X	X		X		
Establecimiento del sistema de gestión de inventario.		X			X	X	
Disminución de los costos de inventario.		X	X			X	X
Determinación del tamaño óptimo del envío.			X	X		X	X
Disponibilidad de medios de transporte			X	X	X	X	X
Disminución del consumo de combustible.		X	X	X	X	X	X
Subcontratación del servicio de almacenamiento.	X	X			X	X	
Empleo de medios unitarizadores	X	X		X	X	X	X
Selección de los envases y embalajes	X	X		X	X	X	X

[Fuente: Elaboración propia]

La simbología utilizada en la *tabla 2.1* es: **(1)** Nivel de servicio; **(2)** Política de inventario; **(3)** Ubicación de los puntos de origen/destino; **(4)** Selección del tipo de transporte; **(E)** Estratégico; **(T)** Táctico y **(O)** Operativo

### Etapa 3: Descripción y diseño de alternativas

Para cumplimentar esta etapa se proponen los pasos siguientes:

- a) **Selección y definición de requisitos de las alternativas:** en la *tabla 2.2* se resumen las alternativas dentro de cada variante de entrega para cada tipo de residuo.
- b) **Diseño del flujo informativo logístico:** se emplea un procedimiento específico que incluye los pasos siguientes: análisis del flujo informativo actual, establecimiento de las necesidades informativas de la cadena de suministro, establecimiento de los puntos de contacto entre las necesidades de información de la cadena y el sistema informativo actual, Establecimiento de las nuevas relaciones informativas en cada uno de los procesos, elaboración del Modelo General de Organización – MGO, seguimiento y control del flujo informativo).
- c) **Definición de parámetros a nivel de procesos** (los parámetros a evaluar son: demanda de los clientes finales y principales de la cadena, duración y estructura del ciclo logístico desde el proveedor inicial hasta el cliente final, niveles de inventario de los residuos en cada miembro de la cadena, nivel de servicio al cliente principal y final fundamentalmente, costo agregado en cada proceso de la cadena (enfaticando en los costos logísticos), horizonte de planificación de cada eslabón y de la cadena de suministro completa, despliegue geográfico de los miembros de la cadena de suministro.
- d) **Determinación de los recursos materiales, humanos y técnicos necesarios para garantizar el funcionamiento de la cadena de suministro:** Este paso debe responder a las variantes de entrega directa e indirecta de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar y a los diferentes tipos de medios de transporte empleados en las mismas. La determinación de los recursos se hará en dependencia de las alternativas seleccionadas. Por ejemplo para los RAC siempre que se trate de una entrega directa (Alternativas 1 y 2) las actividades son: diseño del transporte interno y del almacenamiento a corto plazo de los residuos en el proveedor principal, diseño del sistema de transporte para el traslado del residuo, análisis de la operación de estiba (cargue) del medio de transporte en el proveedor principal, análisis de la operación de desestiba (descargue) del medio de transporte en el cliente principal. Cuando se seleccione la entrega indirecta (Alternativas 3, 4 y 5) a las actividades anteriores se les añade el análisis de la operación de desestiba y del diseño del transporte interno en el almacén intermedio o en el cliente principal, estudio del proceso de empaquetado y el almacenamiento prolongado de los residuos.

Los principales elementos a considerar el **diseño del transporte interno** son: análisis del programa de producción, definición y dimensionado de la tecnología a emplear, determinación de las necesidades de energía, requerimientos de mantenimiento, requerimientos técnicos constructivos que demanden los equipos y las áreas, cantidad de fuerza de trabajo, evaluación económica (costos operacionales e inversión)

Para el **diseño del almacenamiento a corto plazo** los elementos incluidos son: características constructivas, tecnología de almacenamiento, control cualitativo y cuantitativo, definición del flujo informativo, régimen y fuerza de trabajo, seguridad e higiene, costos de almacenamiento y evaluación económica (indicadores económicos y financieros).

El **diseño del sistema de transporte** incluye: la selección del modo y medio de transporte, y la selección de los proveedores. Para esto se selecciona como técnica a emplear la Programación Lineal. La misma permite optimizar la transportación a partir de su costo o precio, el cual es valorado con un comportamiento lineal en el tiempo ya que se determina a partir del tiempo promedio de transportación desde cada uno de los posibles proveedores y para cada tipo de medio de transporte posible. Las generalidades del modelo de programación lineal se muestran en el *anexo 3*.

**Tabla 2.2: Descripción de las alternativas de cada variante de entrega de los residuos en una cadena de suministro**

**a) Para el caso de los RAC**

Variante de entrega	Alternativa	Descripción
Directa	1	Entrega directa de los RAC en estado natural a la empresa azucarera en período de zafra
	2	Entrega directa de los RAC en pacas a la empresa azucarera en período de zafra
Indirecta	3	Entrega indirecta de los RAC en estado natural o en pacas a la empresa azucarera a través de un almacén intermedio.
	4	Entrega indirecta de los RAC en estado natural o en pacas a la empresa azucarera a través de un almacén en el proveedor principal.
	5	Entrega indirecta de los RAC en estado natural o en pacas a la empresa azucarera a través de un almacén en el cliente principal.

**b) Para el caso del bagazo**

Variante de entrega	Alternativa	Descripción
Directa	1	Entrega directa del bagazo en estado natural a la fábrica de tableros en período de zafra
	2	Entrega directa del bagazo en pacas a la fábrica de tableros en período de zafra
Indirecta	3	Entrega indirecta del bagazo en estado natural o en pacas a la fábrica de tableros a través de un almacén en otro proveedor.

**c) Para el caso de las mieles**

Variante de entrega	Alternativa	Descripción
Directa	1	Entrega directa de la miel en estado natural a la destilería en período de zafra
Indirecta	2	Entrega indirecta de la miel a la destilería a través de un almacén en la propia fábrica.
	3	Entrega indirecta de la miel a la destilería a través de un almacén en otro proveedor.

[Fuente: Elaboración propia]

La **selección de los proveedores** está en función de los resultados de los modelos matemáticos. Las variables utilizadas son disponibilidad de residuo y costo o precio de la transportación. En el caso de los RAC si existieran muchos proveedores posibles se recomienda el empleo del procedimiento específico desarrollado por Díaz Casañas, Knudsen González et al. [2004] en el cual se conjugan criterios cualitativos y cuantitativos para la selección.

- e) **Elaboración de la red logística detallada:** A diferencia de la red logística preliminar en esta se ilustran los cambios resultantes de esta etapa.

### **Fase III: Planificación**

#### **Etapa 4: Planificación de la cadena de suministro**

La planificación de la cadena de suministro prevé la ubicación de los pedidos completos en el lugar correcto y en el momento oportuno al menor costo posible. Para lograr esto se propone un **procedimiento específico para la planificación de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar**. Los pasos a seguir son:

- a) Recopilación de la información en cada miembro de la cadena (estudio de los procesos de transformación).
- b) Determinación del inventario de seguridad de cada miembro.
- c) Establecimiento de las cantidades de residuo a ordenar.
- d) Establecimiento de los niveles de inventario en la cadena.
- e) Elaboración de la programación de los reaprovisionamientos.
- f) Planificación del transporte.
- g) Planificación de eventualidades.

La principal herramienta utilizada es la Planificación de los Requerimientos de Distribución (DRP I) y su conjugación con la Planificación de la Capacidad de Transportación (SCP), lo cual trae como resultado el llamado DRP II.

Es importante destacar, que la Relación Energética Neta permite evaluar la factibilidad energética de la transportación, es decir, valorar si el combustible transportado es energéticamente mayor o igual que el combustible consumido en la transportación [Castillo Coto, 2000]. Esto sólo es válido para los RAC.

La planificación de eventualidades permite monitorear y controlar eventos que afecten los procesos de la cadena de suministro, tales como: la demanda, las estrategias competitivas y los volúmenes de ventas.

#### **Etapa 5: Elaboración de un programa de implantación**

El programa debe garantizar el funcionamiento exitoso de la cadena de suministro de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar a partir de la coordinación de las tareas que incluye.

### **Fase IV: Funcionamiento**

#### **Etapa 6: Ejecución de la cadena de suministro**

La ejecución de la cadena consiste en implementar las funciones y medidas necesarias para realizar lo planificado.

### **Fase V: Evaluación**

#### **Etapa 7: Evaluación de la cadena de suministro**

El objetivo fundamental de esta etapa es evaluar el desempeño integral de la cadena de suministro a partir de la determinación del indicador integral Nivel de Desempeño de la Cadena de Suministro (NDCS). Por la importancia que reviste el mismo será detallado en el *epígrafe 2.3*.

## Fase VI: Control

### Etapa 8: Seguimiento y control del comportamiento de la cadena

Para efectuar el seguimiento y control del comportamiento de la cadena de suministro de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar se deben ejecutar los pasos siguientes:

- a) Análisis del comportamiento de cada factor respecto a su valor teórico (indicador NDCS).
- b) Elaboración del plan de medidas para corregir desviaciones.
- c) Divulgación y ejecución del plan de medidas.

### 2.3 Indicador integral para evaluar el nivel de desempeño de la cadena de suministro (NDCS) de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar

Los pasos a seguir para determinar el indicador *Nivel Desempeño de la Cadena de Suministro (NDCS)* son:

- a) Definición de los criterios que componen el indicador.
- b) Definición de los factores que componen cada criterio.
- c) Determinación de la evaluación de cada factor correspondiente a cada criterio.
- d) Determinación del indicador NDCS y su calificación.

Se plantean, a partir de un trabajo en grupos y su posterior reducción y validación por expertos, como criterios a analizar en el indicador los siguientes: **disponibilidad** (factores que denotan la disponibilidad del objeto de trabajo), **características de calidad** (cualidades del producto), **utilización de instalaciones y recursos** (aprovechamiento de las capacidades), **costo** (gastos incurridos en los procesos de la cadena de suministro), **medio ambiente** (índices evaluadores de la significación de los impactos ambientales), **nivel de servicio al cliente** (factores de fiabilidad del cumplimiento de la misión).

En la definición de los factores que componen cada criterio se tuvo en cuenta la jerarquía de decisión de Saaty. Utilizando un método de trabajo en grupo y considerando los elementos componentes del control y seguimiento, se definen los factores que componen a cada criterio. Para la determinación de la importancia relativa, de los factores y criterios, se emplean como herramientas las comparaciones pareadas definidas en el Método de las Jerarquías Analíticas (*en inglés AHP*) [Saaty, 1980].

En la determinación del NDCS se emplean las expresiones que se muestran en el *cuadro 2.1*.

La escala de calificación que se propone es: **Excelente** (Igual a 1), **Muy bueno** (de 0,91 a 0,99); **Bueno** (de 0,81 a 0,90); **Regular o Medio** (0,71 a 0,80); **Malo** (0,61 a 0,70); **Pésimo** (inferior a 0,61).

En resumen la importancia de este indicador está dada en que permite conocer en que medida una cadena de suministro cumple con la misión y objetivos relativos a su diseño y gestión, brindando la posibilidad de medir el desempeño integral e individual de los criterios y factores mencionados anteriormente.

### 2.4 Conclusiones parciales

Como resultado de la fundamentación teórica y la descripción del modelo conceptual y del procedimiento general para el diseño y la gestión de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar en los niveles táctico y operativo se exponen **seis conclusiones parciales**, las cuales resumen los principales aportes y novedades de la presente investigación. Entre los primeros se destaca el aporte metodológico del modelo conceptual y los aportes científicos dados por la inclusión del reciclaje indirecto de los residuos como un caso particular en el procedimiento específico para el diseño del servicio al cliente en este tipo de cadena de suministro y por la obtención de un plan integrado que incluye los inventarios, los procesos de transformación, el transporte, el reabastecimiento y las eventualidades.

Dentro de las novedades resaltan la elaboración del procedimiento general que conjugando técnicas de gestión logística logra la integración de los procesos y exigencias de todos los

clientes de la cadena y la medición del nivel de desempeño de la misma, utilizando el indicador integral Nivel de Desempeño de la Cadena de Suministro (NDCS).

**Cuadro 2.1: Expresiones para la determinación del Nivel de Desempeño de la Cadena de Suministro (NDCS)**

$$NDCS = \sum_{j=1}^n W_j * c_j \quad j= 1(^{\wedge})n \quad (1)$$

$$c_j = \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^{mj} W_{ji} * C_{ji} \quad j= 1(^{\wedge})n \text{ y } i= 1(^{\wedge})mj \quad (2)$$

$$C_{ji} = E_{ji} - \text{práctico} / E_{ji} - \text{teórico}$$

Para factores a maximizar

$$E_{ji} \text{ práctico} = \begin{cases} 1 & \text{si } E_{ji} (real) \geq E_{ji} (plan) \\ E_{ji}(real) / E_{ji}(plan) & (3) \text{ si } E_{ji} (real) < E_{ji} (plan) \end{cases}$$

Para factores a minimizar

$$E_{ji} \text{ práctico} = \begin{cases} 1 - \left[ \frac{E_{ji}(real) - E_{ji}(plan)}{10^K} \right] & (4) \text{ si } E_{ji} (real) \geq E_{ji} (plan) \\ 1 & \text{si } E_{ji} (real) < E_{ji} (plan) \end{cases}$$

Donde:

**NDCS:** Nivel de Desempeño de la Cadena de Suministro

$W_j$ : Importancia relativa del criterio j (obtenido a través del Método AHP)

$C_j$ : Calificación del criterio j

$W_{ji}$ : Peso relativo del factor i correspondiente al criterio j. Se calculan por el método de AHP.

$C_{ji}$ : Nivel de acercamiento del comportamiento del factor i correspondiente al criterio j a su nivel teórico.

$C_{j\text{-teórico}}$ : Calificación teórica del criterio j. Se determinan usando Métodos de Expertos

$E_{ji\text{-práctico}}$ : Evaluación real del factor i correspondiente al criterio j

$E_{ji\text{-teórico}}$ : Evaluación teórica (ideal) del factor i correspondiente al criterio j

$E_{ji} (real)$ : Valor real del factor i correspondiente al criterio j

$E_{ji} (plan)$ : Valor plan del factor i correspondiente al criterio j

$n$ : Cantidad de criterios a utilizar en la evaluación

$m_j$ : Cantidad de factores correspondientes al criterio j

[Fuente: Elaboración propia]

## **CAPÍTULO 3: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO Y LA GESTIÓN EN LOS NIVELES TÁCTICO Y OPERATIVO DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE LA CAÑA DE AZÚCAR**

Se decidió orientar la comprobación práctica hacia el mejoramiento o nuevo diseño y gestión de cadenas de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar; a través de la técnica de estudios de caso. Con esto se demostró la viabilidad y validez del instrumento metodológico desarrollado contribuyendo en algunos casos al ahorro de combustibles fósiles, y en general a la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar.

### **3.1 Definición de escenarios**

Para facilitar la aplicación de los resultados del segundo capítulo, fueron tomados como referencia los escenarios que se muestran a continuación.

#### **Escenario 1: Mejoramiento**

Incluye las cadenas de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar que:

- Tienen tradición en el aprovechamiento industrial de éstos residuos.
- Dado los cambios y la situación actual del sector, se hace frecuente que su proveedor principal no responda a las exigencias del cliente principal.
- En ocasiones la infraestructura no responde a las exigencias de los procesos logísticos.

#### **Escenario 2: Nuevo diseño**

Incluye las cadenas de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar que:

- Se inician en el aprovechamiento industrial de estos residuos.
- No existe una infraestructura adaptada a las exigencias de los procesos logísticos.
- Surgen como resultado de la desactivación de empresas azucareras o por nuevas inversiones en la industria de derivados.

### **3.2 Estudio de casos para el Escenario 1**

Se procedió a la selección de un caso para cada tipo de residuo objeto de estudio en la Tesis Doctoral. Estos son:

**Caso 1: Cadena de suministro de los RAC para su aprovechamiento con fines energéticos** (Knudsen González et al., 2003)

**Caso 2: Cadena de suministro de las mieles para la obtención de alcohol** (Knudsen González et al., 2004|b|)

**Caso 3: Cadena de suministro del bagazo para la producción de tableros** (Knudsen González et al., 2004|a|)

Para la selección de las empresas azucareras del estudio de Caso 1 se consideró pertinente utilizar como criterio el **mayor empleo de los RAC con fines energéticos durante los últimos once años en entidades de la provincia Villa Clara**. Las empresas azucareras seleccionadas fueron “Quintín Banderas” y “Chiquitico Fabregat”, las cuales representan el 62 % del consumo total provincial de RAC en el período analizado.

#### **3.2.1 Resultados de la aplicación del procedimiento general en la cadena de suministro de los RAC en la Empresa Azucarera “Quintín Banderas”**

Para poder complimentar este epígrafe se tomaron como base los aspectos tratados en el *epígrafe 2.2.1 del capítulo 2*, los cuales se corresponden con la *figura 2.2*.

#### **Fase I: Diseño preliminar**

##### **Etapa 1. Análisis de las organizaciones implicadas**

La **misión** de esta cadena es contribuir a la elevación de la eficiencia de la empresa azucarera mediante el autoabastecimiento de energía eléctrica y de vapor, ahorrando combustibles fósiles y llegando a comercializar el excedente de energía eléctrica que se logre generar.

Los resultados de la **identificación de los aspectos e impactos ambientales** en los procesos que conforman la cadena se observan en la *tabla 3.1*. Para el cliente principal la **demanda diaria** de la cadena es de 211 t de RAC, incluyendo las pérdidas en los procesos de manipulación, almacenamiento y transporte que son de un 10 %.

En el *anexo 4* se muestra la red logística preliminar de la cadena de suministro con la situación actual de los flujos y los cinco posibles proveedores. El resultado del desempeño actual de esta cadena de suministro sólo alcanza el 76 %, por lo que se califica de mal. Las medidas para su mejoramiento en cada criterio y factor se resumen en el *anexo 5*.

La principal deficiencia mostrada es el bajo aprovechamiento promedio de la capacidad de los medios de transporte.

## **Fase II: Diseño detallado**

### **Etapa 2: Decisiones logísticas en los niveles táctico y operativo**

Considerando las medidas del *anexo 5*, las **decisiones tácticas y operativas** a adoptar en la cadena de suministro de los RAC en la Empresa Azucarera “Quintín Banderas” son:

- Manipular, almacenar y transportar los RAC a granel (en estado natural) hasta su llegada al proceso de preparación de los RAC para su consumo.
- Manipular, almacenar y transportar los RAC picados una vez que estos estén dentro de la empresa.
- Lograr que los RAC lleguen a la caldera con un máximo de 25 % de humedad aproximadamente.
- Minimizar los costos de inventario a partir de la cantidad de RAC almacenados.
- Seleccionar los medios de transporte, minimizando el consumo de combustible, el tiempo de ciclo logístico y los costos de transportación, con un elevado aprovechamiento de la capacidad de los mismos.

### **Etapa 3: Descripción y diseño de alternativas**

Considerando que solo se emplearán los RAC en su estado natural en el período de zafra, la **alternativa** a seleccionar es la **1** (entrega directa de los RAC en estado natural desde los centros de beneficio hasta la empresa azucarera – ver *tabla 2.2*).

Al diseñar todos los procesos y actividades de la cadena de suministro se determinaron las necesidades de recursos productivos (un tractor-alzadora y un tractor-palita por centro de beneficio, entre otros recursos).

La **red logística detallada** del *anexo 6* muestra los cuatro centros de beneficio proveedores que se utilizarán después de aplicar el modelo de programación lineal, así como los flujos entre sus eslabones.

## **Fase III: Planificación**

### **Etapa 4: Planificación de la cadena de suministro**

La aplicación de la técnica gerencial *DRP I* se hizo para 24 h de trabajo diarias de la empresa y para las 16 h de trabajo diarias de los centros de beneficio. La planificación operativa del transporte se resume en la *tabla 3.2*, donde se aprecia que toda la transportación se hará con medios ferroviarios.

La **Relación Energética Neta** (REN) fue favorable, demostrándose así que el combustible obtenido es mucho mayor que el consumido en la transportación.

La **planificación de las eventualidades** se realizó mediante la creación de un inventario de seguridad en la casa de bagazo, el cual se forma acumulando una tonelada por cada hora de funcionamiento de la cadena (24 t/d), siempre que no existan interrupciones en la molienda de caña.

**Tabla 3.1: Determinación de los aspectos e impactos ambientales para cada actividad de la cadena de suministro de los RAC en la Empresa Azucarera “Quintín Banderas”**

Proceso (actividad)	Producto	Aspecto	Impacto
Transportación de los RAC en su estado natural desde los centros de beneficio hasta la instalación de preparación de los RAC.	Residuos Agrícolas Cañeros	Exceso de ruido	Ambiente laboral ruidoso
		Emisiones de escape	Emisiones al aire
		Derrames eventuales de combustibles y RAC durante las operaciones del movimiento del parque automotor	Contaminación de la superficie terrestre y las aguas.
Manipulación de los RAC en su estado natural en los centros de beneficio.	Residuos Agrícolas Cañeros	Esparcimiento del producto	Contaminación de la superficie terrestre y las aguas.
		Exceso de ruido	Ambiente laboral ruidoso
		Emisiones de escape	Emisiones al aire
Almacenamiento a corto plazo de los RAC en su estado natural en los centros de beneficio.	Residuos Agrícolas Cañeros	Esparcimiento del producto	Contaminación de la superficie terrestre y las aguas
		Exceso de ruido	Ambiente laboral ruidoso
		Emisiones de escape	Emisiones al aire
Estiba de los medios de transporte con RAC en su estado natural en los centros de beneficio.	Residuos Agrícolas Cañeros	Posibles derrames del producto	Contaminación de la superficie terrestre y las aguas
		Exceso de ruido	Ambiente laboral ruidoso
		Emisiones de escape	Emisiones al aire
		Derrames eventuales de combustibles durante el movimiento del parque automotor.	Contaminación de la superficie terrestre y las aguas.
Manipulación de los RAC en la instalación de preparación (zona de descarga).	Residuos Agrícolas Cañeros	Posibles derrames del producto.	Contaminación de la superficie terrestre y las aguas
		Emisiones de escape	Emisiones al aire
		Derrames eventuales de combustibles y RAC durante el movimiento del parque automotor.	Contaminación de la superficie terrestre y las aguas
Alimentación de las calderas	Biomasa Cañera	Posibles derrames del producto.	Contaminación de la superficie terrestre y las aguas
		Emisiones de escape	Emisiones al aire

[Fuente: Elaboración propia]

**Tabla 3.2: Planificación operativa del transporte a partir de la aplicación del DRP II**

Número del Tren	Origen	RAC a transportar (t/d)	Cantidad de vagones (unidades)	Aprovechamiento de la capacidad del tren (%)
1	Enriqueta	47,9	8	96,9
2	La felicidad	61,8	10	100,0
3	San Luis	33,0	6	89,0
4	Guanilla	61,0	10	98,7

[Fuente: Elaboración propia]

#### **Etapas 5: Elaboración de un programa de implantación**

Este programa incluyó las tareas siguientes: estimación de la cantidad de RAC que se producirá en cada uno de los centros de beneficio, determinación del estado en que se encuentra el parque tecnológico, determinación de la estrategia organizativa de la cadena, capacitación del personal implicado en la cadena y acondicionamiento de las instalaciones y equipos.

#### **Fase IV: Funcionamiento**

##### **Etapas 6: Ejecución de la cadena de suministro**

Para darle cumplimiento a esta fase se comenzó por la implantación de las tareas propuestas siguiendo el cronograma de implantación. Es de destacar que las fechas dependen de la planificación de la zafra azucarera.

#### **Fase V: Evaluación**

##### **Etapas 7: Evaluación de la cadena**

Los resultados del indicador **NDCS** se muestran en el *anexo 7*. En el mismo se observa un valor de **95,9 %**, lo cual se califica de **muy bien**

#### **Fase VI: Control**

##### **Etapas 8: Seguimiento y control del comportamiento de la cadena**

Al comparar el valor obtenido en la etapa anterior con el comportamiento actual (*anexo 5*) se aprecia una mejoría significativa. No obstante aún quedan reservas en la cadena en el aprovechamiento de las instalaciones y recursos; los costos de manipulación, almacenamiento y transporte y en los indicadores de nivel de servicio. Las medidas a adoptar se relacionan con estos aspectos y se muestran en el *anexo 8*.

### **3.2.2 Principales resultados en la cadena de suministro de los RAC en la Empresa Azucarera “Chiquitico Fabregat”**

A diferencia de la cadena analizada en el epígrafe anterior existe transformación, manipulación, almacenamiento y transporte de los RAC en su estado natural y en pacas, empleándose como únicos medios de transporte los tractores YUNZ-6M con dos carretas. El uso de las pacas de RAC es para la cogeneración en horas de la noche y la madrugada.

En esta cadena se observan reservas en el aprovechamiento de las capacidades de los centros de beneficio, de los medios de transporte y de los centros de preparación de los RAC. También pueden mejorarse los indicadores de nivel de servicio.

El indicador **NDCS** para esta cadena de un valor actual del **77,4 %** se elevó hasta el **89,5 %**, lo cual se califica de **bueno**.

### 3.2.3 Principales resultados en una cadena de suministro de las mieles para la obtención de alcohol

La aplicación de este caso fue desarrollada en la Destilería “Héctor Molina”, ubicada en la provincia Habana, anexa a la empresa azucarera de este mismo nombre. La selección se fundamenta en dos aspectos básicos: (a) es el centro de referencia nacional del MINAZ para las actividades de ciencia y técnica, (b) en la actualidad se desarrolla un Proyecto de Investigación del Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) para una ampliación de capacidad en la destilería, lo cual exige de un mejoramiento del diseño y la gestión de la cadena de suministro actual de las mieles para la obtención de alcohol. Una de las entradas del procedimiento lo constituye la revalorización de los residuos, cuyo índice demostró que es 4,8 veces más conveniente vender el alcohol que comercializar la miel.

A diferencia de las cadenas anteriores tanto el diseño del servicio al cliente como la planificación de la cadena de suministro se hace en dos momentos: período de zafra y período de no zafra. Esto se debe a que en el primer período se prevé procesar sólo la miel del proveedor principal y en el segundo las mieles procedentes de otros proveedores.

Los principales resultados obtenidos se muestran en el *anexo 8*. La elevación del indicador **NDCS** se debe en lo fundamental al aumento del aprovechamiento de las instalaciones y recursos, a la elevación del nivel de servicio al cliente y a la disminución en gran medida de los costos de transportación, alcanzando el valor de **95,9%**, que clasifica como **muy bien**.

### 3.2.4 Principales resultados en una cadena de suministro del bagazo para la producción de tableros

Para este caso se seleccionó la Fábrica de Tableros “Omar Jacinto Rosado Alonso”, localizada en la provincia Ciego de Ávila. Esta selección se fundamenta los aspectos siguientes: (a) es la fábrica de mayor demanda estimada de bagazo en el país [Molina Mancebo, 2003], la cual representa aproximadamente el 29 % de la demanda total nacional; (b) su proveedor principal sólo le suministra el 13 % de la demanda de bagazo con relación a su punto de equilibrio.

En esta cadena el Índice de Revalorización demostró que es aproximadamente 20 veces más factible económicamente la venta de tableros con relación a la comercialización del bagazo.

Dadas las propias características del proceso productivo de los tableros la planificación de esta cadena debe hacerse en dos momentos. El primero incluyendo los procesos logísticos hasta la llegada del bagazo al almacén de la fábrica y el segundo comienza una vez transcurridos los 90 d que como mínimo debe permanecer el bagazo en el secado natural. Este último sería el período de producción de la fábrica de tableros. El **NDCS** final fue de **92,3%**, que se clasifica como **muy bien**

Los resultados obtenidos (ver *anexo 8*) en esta cadena permitieron elevar los volúmenes de producción de la fábrica de tableros a partir del aprovisionamiento de bagazo desde diferentes empresas azucareras del territorio. La meta proyectada fue de producir 6 000 m<sup>3</sup> tableros con los parámetros de calidad establecidos y entregando a tiempo los pedidos solicitados, lo cual coincide con su punto de equilibrio.

### 3.3 Estudio de caso para el Escenario 2

En este epígrafe se exponen los resultados (ver *anexo 8*) del **Caso 4: Cadena de suministro de los RAC en la Empresa Azucarera “Héctor Molina”**, la cual se localiza en La Habana.

A diferencia de las aplicaciones anteriores en este estudio de caso no se desarrolla completamente el procedimiento ya que no existe la posibilidad de comparar la situación de la cadena antes y después de implementado el procedimiento, por lo que todos los resultados estarán en función de la nueva cadena de suministro diseñada y gestionada para estos fines [Pérez Egusquiza, Knudsen González et al., 2004]. El **NDCS** proyectado, como se observa en el *anexo 8*, fue de **91,1 %**, que clasifica como **muy bien**.

### **Resumen de resultados y beneficios de la aplicación del procedimiento general**

En cada estudio de caso se presentaron diferentes situaciones en cuanto a los procesos logísticos de la cadena y su secuencia, lo cual dio origen a diferentes decisiones adoptadas en los niveles táctico y operativo. Derivado de todo esto, en el *anexo 8* se resumen algunos resultados obtenidos en los estudios de caso validados en la presente investigación. Paralelamente a lo anterior, de una u otra forma se obtienen beneficios ambientales, económicos, sociales y metodológicos, los cuales fueron resumidos en el *anexo 9*.

### **3.5 Conclusiones parciales**

Una vez validado el procedimiento general en los cuatro estudios de casos seleccionados para esta investigación se exponen siete conclusiones parciales que en resumen abordan los aspectos siguientes:

- Se establecieron las demandas y ofertas de servicio al implementar el procedimiento específico para la proyección del nivel de servicio al cliente.
- La alternativa predominante fue la entrega directa de los residuos en su estado natural; aunque en ocasiones se propuso la combinación de alternativas.
- Se elaboraron los planes tácticos y operativos de transportación en todas las cadenas utilizando los medios de transporte que menores gastos le reportan.
- En las cadenas de suministro de los RAC, siempre se obtuvo una disminución de la cantidad de proveedores principales; y en las de los otros residuos, por lo general aumentaron en proporción directa con el aumento de la demanda.
- Los resultados obtenidos del indicador NDCS en algunos casos mostraron crecimiento (Quintín Banderas en un 19.9 %, Chiquitico Fabregat en 16,1 %, Destilería “Héctor Molina” en un 7,1 % y Fábrica de Tableros en un 15,4 %) y en otros la posibilidad de su establecimiento en una nueva cadena de suministro (Empresa Azucarera “Héctor Molina” con un 91,18 %).

Por último es de destacar que se emplearon como herramientas varios software, los cuales permitieron dar solución al modelo de programación lineal, las validaciones estadísticas y a la determinación de los costos de transportación.

### **CONCLUSIONES GENERALES**

1. Los resultados obtenidos en la construcción del marco teórico – referencial de la presente investigación confirmaron la existencia de una amplia base conceptual para el diseño y la gestión de sistemas logísticos en general, y de las cadenas de suministro en particular; así como las tendencias del enfoque logístico al caso de los residuos y del diseño de sistemas logísticos para el abastecimiento de los RAC a nivel estratégico. Sin embargo, no se encontraron precedentes de la aplicación de los sistemas de gestión logísticos a la secuencia de éstos procesos en una cadena de suministro de residuos agroindustriales de la caña de azúcar en los niveles táctico y operativo, ni elementos que permitieran evaluar su desempeño y la significación de los impactos ambientales en los marcos del diseño y la gestión de las mismas.
2. La aplicación del enfoque logístico al caso de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar objetos de estudio en esta investigación, permitió comprobar que para obtener de ellos los beneficios ambientales, económicos y sociales que se esperan de su aprovechamiento, se requiere la conjugación de las tendencias de logística del reciclaje, logística inversa y de la logística verde, las cuales permiten que estos residuos se reciclen mediante flujos directos e indirectos para garantizar su aprovechamiento y contribuir así a la preservación del medio ambiente.
3. En la investigación realizada en esta Tesis Doctoral quedó demostrado que mediante el diseño y la gestión de las cadenas de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar, se contribuye al ahorro de combustibles fósiles, a la diversificación de la

industria azucarera y a elevar la integración en su desempeño. Esto por una parte, corrobora la correcta formulación del problema científico planteado, y por otra parte, confirma la necesidad actual y futura de implementar la planificación de las necesidades de distribución y de las capacidades de transportación como herramientas para el diseño y la gestión logística de éstas cadenas.

4. El modelo conceptual desarrollado en esta investigación brinda una respuesta acertada al problema científico planteado ya que conjuga armónicamente las entradas procedentes del nivel estratégico con las decisiones logísticas tácticas y operativas para brindar, como salida, la medición y comparación del desempeño actual con el mejorado en una cadena de suministro, todo ello soportado en un conjunto de factores integrados en un indicador que facilita la integración, coordinación y racionalidad de los procesos logísticos.
5. La elaboración del procedimiento general para el diseño y la gestión de la cadena de suministro de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar en los niveles táctico y operativo, incluyendo los procedimientos específicos para la proyección del nivel de servicio al cliente, el diseño del flujo informativo y la planificación de la cadena de suministro en los niveles táctico y operativo y su posterior validación en las cadenas objeto de estudio, permitió el cumplimiento de los objetivos propuestos en la presente Tesis Doctoral.
6. Una vez implementados, en las cadenas objetos de estudio, los procedimientos específicos mencionados anteriormente y en particular el relacionado con la planificación de la cadena de suministro, se logró una planificación integrada de los procesos de obtención, manipulación, almacenamiento, estiba, transportación y desestiba de los residuos en la cadena. Todo lo cual contribuyó de manera favorable a mejorar el desempeño de la misma, medido a través del indicador integral propuesto.
7. El indicador integral NDCS creado para apoyar el procedimiento general, permitió conjugar criterios relacionados con la disponibilidad, las características de calidad, la utilización de instalaciones y recursos, el medio ambiente y el nivel de servicio al cliente. Para su cálculo se hizo necesario el empleo de las comparaciones pareadas definidas en el Método multicriterio AHP de Saaty.
8. Los resultados obtenidos en el indicador NDCS en las cadenas analizadas, demostraron la validez de la hipótesis planteada en la presente Tesis Doctoral ya que después de implementado el procedimiento para el diseño y la gestión de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar los mismos mejoraron, de calificaciones de regular a calificaciones de bien y muy bien. Por otra parte, también se demostró la posibilidad de su empleo en las nuevas cadenas de suministro que surjan en los marcos de la diversificación de la industria azucarera.
9. En varios de los procedimientos específicos se emplearon los métodos matemáticos expuestos en la introducción de esta Tesis Doctoral, utilizando los *software* correspondientes en cada uno de los casos con el objetivo de ganar precisión y rapidez en las soluciones brindadas, y a la vez justificar técnicamente las decisiones adoptadas. También se elaboró el *software* COSTOTRANS para facilitar la determinación de los costos de transportación de cada uno de los medios de transporte analizados.

## **RECOMENDACIONES**

Como parte de la continuidad de este trabajo investigativo se recomienda:

1. Continuar desarrollando de forma continua el control de las cadenas de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar objeto de estudio en esta investigación, con el objetivo de ir tomando las medidas pertinentes que contribuyan al mejoramiento continuo de los procesos logísticos que incluyen las cadenas y a su funcionamiento integral.

2. Continuar la divulgación de los resultados de esta investigación a través de eventos científicos, cursos de postgrado y mediante la presentación de artículos científicos, como una vía de contribuir a la generalización de los resultados obtenidos en esta Tesis Doctoral, y a la vez convertirla en un material de consulta del Área de Diversificación del Ministerio del Azúcar.
3. Desarrollar un *software* que ayude en la planificación de la cadena de suministro a partir del procedimiento desarrollado en esta investigación, lo cual permitiría ahorrar tiempo, ganar en precisión en los cálculos y la posibilidad de evaluar la mayor cantidad de alternativas posibles.
4. Extender la aplicación del procedimiento general a otras cadenas del país, que utilicen los residuos objetos de estudio en esta investigación u otros, con el objetivo de contribuir con la estrategia de desarrollo de la industria azucarera cubana en los próximos años.
5. Incorporar los procedimientos y experiencias de esta Tesis Doctoral en la enseñanza de pregrado y postgrado de la disciplina Logística, de manera que los actuales y futuros profesionales de la Ingeniería Industrial enriquezcan la forma de diseñar y gestionar una cadena de suministro a partir de la toma de decisiones logísticas en el nivel táctico y con algunos elementos del nivel operativo.
6. Continuar investigando en las afectaciones ambientales que producen los procesos logísticos en estas cadenas de suministro, llegando a determinar la magnitud de los impactos ambientales que se producen en la misma para poder regularlos y contribuir así al desarrollo sostenible que demanda hoy día la sociedad cubana.
7. Darle continuidad al procedimiento para el desarrollo, a nivel operativo, de las etapas de regulación y control, donde se puedan tomar decisiones más rápidas ante cualquier anomalía en el desempeño de las cadenas de suministro objetos de estudio.
8. Estudiar otras características de calidad particulares de cada uno de los residuos y algunas características de calidad del producto terminado, las cuales puedan ser incorporadas al indicador integral para garantizar una mejor evaluación del desempeño de la cadena.
9. Vincular los resultados de esta investigación a proyectos internacionales que promuevan el aprovechamiento industrial de residuos a través del reciclaje directo o indirecto, la logística inversa o de la logística verde, con el objetivo de generalizar las experiencias.

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA FUNDAMENTAL UTILIZADA EN LA TESIS

1. Acevedo Suárez, J. A., Urquiaga Rodríguez, Ana Julia, Gómez Acosta, Marta. (2001). Gestión de la cadena de suministro. Centro de Estudio Tecnología de Avanzada (CETA) y Laboratorio de Logística y Gestión de la Producción (LOGESPRO). Ciudad de la Habana.
2. Aguilar, A. (2003). La industria cubana del azúcar. Una opción que no puede ser descuidada. El economista de Cuba. Año 5. Nro V, pp. 8-10. Ciudad de la Habana.
3. Aguilar Pardo, A. et al. (2001 |a|). Disponibilidad durante la cosecha. Parte I. CubaAzúcar. Vol.XXX. Nro 1, pp. 43-47. Ciudad de la Habana.
4. ANPP (1997). Ley No 81 del Medio Ambiente. Asamblea Nacional del Poder Popular. Gaceta Oficial de la República de Cuba. Nro 7, p.47. Ciudad de la Habana.
5. Asencio, J. (1994). Las funciones multiobjetivos en los sistemas de ayuda a la decisión. VII Congreso Latino - Americano de Investigación de Operaciones e Ingeniería de Sistemas. Santiago de Chile.
6. ASLOG (2002). Glossarie Logistique. Association française pour la logistique (ASLOG). En <http://www.aslog.org/>
7. Ayala Bécquer, P. (1996). Sistema de actividades para la proyección del transporte interno en fábricas de construcción de maquinarias en fases primarias inversionistas. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.
8. Ballou, H. R. (1991). La logística empresarial. Control y Planificación. Ediciones Díaz de Santos. Madrid.
9. Barbosa, A. et al. (2002). *Logística Reversa O Reverso da Logística*. FAENAC - Faculdade Editora Nacional (São Caetano do Sul - S.P.). En <http://www.gualog.com.br/>
10. Bender, P. (1998). *Logistic System Design. The distribution Handbook. The Free Press. USA*.
11. Blanchard, B. (2000). *Logistics Engineering and Management. Sixth Edition. International Series in Industrial and System Engineering. Prentice Hall. USA*.
12. Blumberg, D. (1999). *Strategic examination of reverse logistics and repair service requirements needs, market size, and opportunities*. Journal of Business Logistics. Vol 20. Nro 2. pp. 141-159.
13. Carter, C. R. & Ellram, L. M. (1998). *Reverse Logistics: A Review of the Literature and Framework for Future Investigation*. The Journal of Business Logistics. Vol 19. Nro 1. pp.85-102.
14. Castillo Coto, Ana Lidia (2000). Enfoque prospectivo para la estrategia logística de la cogeneración con paja en la industria de la caña de azúcar. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Código 658.72 Cas E.
15. CBT (1998). *Straw for energy production. Technology – Environment – Economy. Second edition. Center for Biomass Technology. Denmark*, pp. 15-18
16. CC-PCC (1998). El perfeccionamiento empresarial. Convertir la excepción en regla. Departamento de Organización del Comité Central del Partido Comunista de Cuba. Ciudad de la Habana.
17. CEL (2000). Estrategias logísticas. Centro Español de Logística. En <http://www.cellogistica.org/articulos.html>.
18. Cespón Castro, R. & Auxiliadora, María. (2003). Administración de la cadena de suministros. Manual para estudiantes de la especialidad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica Centroamericana de Honduras. UNITEC. Tegucigalpa.
19. Christopher, M. L. (1999). *Supply Chain Strategy: Its Impact on Shareholder Value*. The International Journal of Logistics Management. Vol 10. Nro 1. pp.1-10.
20. Clarkston (2000). *Supply Chain Management Primer*. En <http://www.clarkstongroup.com>.

21. CLM-UN (2002). *What is Reverse Logistics? Center for Logistics Management University of Nevada, Reno*. En <http://www.rlec.org/clmun.htm>
22. Comas Pullés, R. (1996). Logística, origen, desarrollo y análisis sistémico. *Logística Aplicada* No 1. pp.3-9. Ciudad de la Habana.
23. Conejero González, H. C. (1996). Desarrollo de la manipulación y el almacenamiento en las bases de recuperación de desechos no metálicos. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.
24. Cooper, Martha C.; Lambert, Douglas M. and Pagh, Janus D. (1997). Supply Chain Management: more than a new name for logistics”, *The International Journal of Logistics Management*. Vol 8. Nro 1, pp.1-14
25. CSCMP (2005). *Supply Chain and Logistics Terms and Glossary. Council of Supply Chain Management Professional*. En <http://www.cscmp.org/Downloads/Resources/glossary03.pdf>
26. Daugherty, P. J. & Ellinger, A. E. (2001). *Reverse Logistics: The relationship between resource commitment and Program Performance*. *The Journal of Business Logistics*. Vol 22. Nro 1. pp.107-123.
27. Domínguez Machuca, J. et al., (1998). Dirección de operaciones. Aspectos estratégicos en la producción y los servicios. Mc Graw Hill Interamericana, S. A. Madrid
28. Donovan, R. M. (2000). Mejora del desempeño de Gestión de la Cadena de Suministro. Los prerrequisitos hacia el éxito. Parte I. En <http://supplychain.lttoolbox.com/browse.asp?c=SCMPeerPublishing.htm>.
29. ERMP (1995). Recuperación de desechos. Editado por Empresa de Recuperación de Materias Primas de Ciudad de la Habana.
30. Fleischmann et al. (2000). *A characterization of logistics networks for product recovery. Omega: The International Journal of Management Science*. Vol. 28. Nro 6, pp. 653-666.
31. Gálvez, L. O. (1996.) La diversificación y sus ventajas comparativas. Seminario Taller Facultad de Ingeniería y Arquitectura “Ing. Amin Abel Hasbua”. Santo Domingo.
32. GE-MINAZ-VC (2002). Proyecciones de la Tarea Alvaro Reynoso. Grupo Empresarial MINAZ Villa Clara.
33. Global Supply Chain Forum (1998). *What is Supply Chain Management? Center for Logistics Management. University of Reno, USA*. En <http://www.unr.edu/coba/logis>
34. Gómez Acosta Marta Inés & Acevedo Suárez, J. A. (2001 [a]). Logística moderna y la competitividad empresarial. Ed. Centro de Estudio Tecnología de Avanzada (CETA) y Laboratorio de Logística y Gestión de la Producción (LOGESPRO). Ciudad de la Habana.
35. González Suárez, E. et al. (2003). La transferencia de tecnología para el desarrollo diversificado de la industria de la caña de azúcar. *Centro Azúcar*. Nro 1. Año 30, pp. 46-56. Santa Clara.
36. González González, R. (2002). El modelo Plataforma logística de petróleo en Cuba. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría. La Habana. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Ciudad de la Habana.
37. Horta Nogueira, L. A. et al. (2000). Estudio alternativo de la caña de azúcar como recurso alimenticio y energético – un modelo integrado. SD dimensions. Brasil. En <http://www.tierramerica.net/2000/1105/noticias2.html>
38. Hugot, E. (1980). Manual para ingenieros azucareros. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana.
39. Huisman, W. et al. (2000). *Comparison of bale storage systems for biomass. 1st World Conference and Exhibition on biomass for energy and Industry*. Sevilla.
40. ICIDCA (2000). Manual de derivados de la caña de azúcar. Tercera Edición. Imprenta MINAZ. Ciudad de la Habana.

41. IEFP-ISQ (2001). *Logística Industrial – Sistema logístico. Guía do formando*. En <http://www.logistica/industrial/sistema-logistico.html>.
42. Isaac Godínez, C. L. (2001). El análisis del ciclo de vida del producto, una herramienta para el desarrollo de la logística reversa en la empresa. Evento Logística 2001. Ciudad de la Habana.
43. Kára, J. & Adamovský, R. (2000). *Logística energetické biomasy*. Biom. En <http://www.vurv.cz/czbiom/sb00petrikova/kara.html>
44. Klausner, M. & Hendrickson, C. (2000). *Reverse-logistics strategy for product take-back*. Interfaces. Vol.30 Nro 3, pp. 156-165. USA.
45. Kopicki et al. (1993). *Reuse and Recycling – Reverse Logistics Opportunities*. Oak Brook, IL. Council Logistics Management, p. 323. USA.
46. Lambert, D., Cooper, Martha C. & Pagh J. D. (1998). *Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities*. The International Journal of Business Logistics. Vol 9. Nro 2. pp.1-19.
47. Lacerda, L. (2002). *Logística Reversa - Uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais*. En <http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-public.htm>
48. LIFE-INEL-IPROYAZ (1996). Proyecto de cogeneración con biomasa cañera en el Central “Abel Santamaría” .*Laboratories for Information Food and Energy*. Roma.
49. Ljungblom, L. (2002). Alholmen the Worlds largest CHP Biopower plant. The Bioenergy International. Nro 3, pp. 1-5.
50. López Guzmán, P. (2004). Plan de desarrollo energético sostenible de la agroindustria de la caña de azúcar cubana. Taller Aprovechamiento del bagazo y los residuos agrícolas de la cosecha cañera. Ciudad de la Habana.
51. Marrero Delgado, F. (2001). Procedimiento para la toma de decisiones logísticas con enfoque multicriterio en la cadena de corte, alza y tiro de la caña de azúcar. Aplicaciones en la provincia de Villa Clara. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.
52. Martin J. & Roth R. (2000). *Supply Chain Management requirements and systems*. En <http://www.supplychain.ittoolbox.com/document/document.htm>.
53. Martinetti, M. F. (2003). Biomasa y RSU. Física: Fuentes de energía. En <http://www.renovables.com> Matos Rodríguez, H. (1997). Modelo para el diseño y mejoramiento del sistema de reciclaje de residuos de envase en zonas turísticas. Universidad Camilo Cienfuegos de Matanzas. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.
54. Meade, L. & Sarkis, J. (2002). *A conceptual model for selecting and evaluating third-party reverse logistics providers*. SCM. An International Journal Vol 7 Nro 5, pp. 283-295.
55. Mentzer, J. et al. (2001). *Defining Supply Chain Management*. Journal of Business Logistics. Vol. 22, Nro 2, pp.1-25.
56. Mesa Oramas, J. & González Penichet, L. (2003). La agroindustria de la caña de azúcar en un marco de Desarrollo Sostenible. En <http://www.monografiass.com/monografiass/EpypZkuuApLbwXFznm.php>
57. MINAZ (2003). Programa de desarrollo de los derivados de la industria azucarera 2004 – 2008. Ministerio del Azúcar. Ciudad de la Habana.
58. Molina Mancebo, R. (2003). Demandas de fibra de las plantas productoras de derivados y alternativas para su aseguramiento. Taller Nacional de utilización de bagazo y RAC. Ciudad de la Habana.
59. NC ISO 14 000: 2001. Sistema de gestión ambiental. Especificación con orientaciones para su uso. Primera Edición. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de la Habana.
60. Ortega Mier, M. Á. (2003). Logística Inversa. Situación actual de dos sectores significativos. V Congreso de Ingeniería de Organización, Valladolid, México.

61. Oquendo Ferrer, Hilda; Garciandía, G. & González Suárez, E. (2002). Estudio de mercado aplicado al producto alcohol. Centro Azúcar. Nro 1. Año 29, pp. 21-25. Santa Clara.
62. Paul i Cos, Y. et al. (2001). Manual de Logística Integral. Ediciones Díaz de Santos. Madrid. España.
63. PCC (1997). Resolución Económica aprobada en el V Congreso del Partido Comunista de Cuba. Editora Política. Ciudad de la Habana.
64. Pérez Egusquiza, F. (2003). Potencialidades del bagazo sobrante y la paja de caña. Evento Taller de bagazo y paja. CNCA. Ciudad de la Habana.
65. Pérez Hernández, J. A., Valdés Martínez, M. et al. (2004). Consideraciones generales para el almacenamiento del bagazo con fines energéticos. Evento Taller Aprovechamiento del bagazo y los residuos agrícolas de la cosecha cañera. Ciudad de la Habana.
66. PILoT (2003). ¿Por qué logística inversa? Programa de Innovación Logística y Tecnológica (PILoT). En <http://www.pilot.org/>¿qué es la logística inversa.htm
67. Poist, R. (2000). *Development & Implementation of Reverse Logistics Programs (Book)*. Transportation Journal. Vol. 39 Issue 3.
68. Projeto BRA/96/G31 (2000). *Geracao de energia por biomassa bagaco da cana-de-acúcar e resíduos*. Informativo do Centro Tecnologia Copersucar. Nro 8, pp. 1-4. Brasilia.
69. Quam (2001). Logística Empresarial. En <http://www.quam.cl7pages/logistica.html>.
70. Remil Mesa, Marlen, Díaz de los Ríos, M. et al. (2004). Estrategia para minimizar los costos de producción de alcohol, considerando los gastos en transportación de miel y tipos de miel a emplear. Evento VIII Congreso Internacional sobre azúcar y derivados de la caña. Ciudad de la Habana.
71. REVLOG (2002). What is reverse logistics?. The European Working Group on Reverse Logistics (REVLOG). En <http://www.fbk.eur.nl/OZ/REVLOG/Introduction.htm>
72. Rizzo Pastor, P. (2001). Caña de azúcar con fines energéticos. Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. Proyecto SICA. En <http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/ing%20Rizzo/agricultura/bioconversionenergiasolar.htm>
73. Rizzo Pastor, P. (2002). El cultivo de la caña de azúcar en Cuba. Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. Proyecto SICA. En <http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/ing%20Rizzo/agricultura/AzucarenCuba.htm>
74. RLEC (2003). *What is Reverse Logistics? Reverse Logistics Executive Council*. En <http://www.rlec.org/ReverseLogisticsExecutiveCouncil.htm>
75. Rodríguez Ramos, Heidy. (2004). Propuesta de un plan estratégico de producción y uso de alcohol carburante en Cuba. Evento VIII Congreso Internacional sobre azúcar y derivados de la caña. Ciudad de la Habana.
76. Rogers, D. S. & Tibben-Lembke, R. S. (1998). *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*. Pittsburgh, PA: RLEC Press, p.2.
77. Rogers, D. S. & Tibben-Lembke, R. S. (2003). Reverse Logistics Glossary. Reverse LogisticsExecutive Council. En <http://equinox.scs.unr.edu/homepage/rtl/reverse/glossary.html>
78. Rubio González, A., Pérez Egusquiza, F. & Roque Díaz, P. (1999). Hacia una industria sucroenergética cubana. Internacional Sugar Journal. Vol. 100. Nro 1199. pp.367-372.
79. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill. New York.
80. Sahid C., F. E. (1998). Logística pura ...más allá de un proceso logístico. Colección Logística Corporación John F. Kennedy. Editor: Litográficas Pabon. Colombia.
81. Santos Norton, María Lilia. (1996). Concepción de un enfoque en sistema para la gestión de los aprovisionamientos. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría". Ciudad de la Habana. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Código 658.785 San C.

82. Sarian, G. (2002 |a|). *Logística reversa: os custos do retorno à origem*. En [http://www.revistadistribicao.com.br/content.asp?page=141&id\\_edicao=31](http://www.revistadistribicao.com.br/content.asp?page=141&id_edicao=31)
83. Sarian, G. (2002 |b|). *Logística de trás para frente*. En <http://www.logisticabs.com.br/noticias/html/trasfrente.htm>
84. Schwartz, B. (1999). *Reverse Logistics. Untapped opportunities exist in returned products, a side of logistics few businesses have thought about--until now*. [Information Week](#). Issue 729, p. 48.
85. Stock, J. R. (1998). *Development and Implementation of Reserve Logistics Programs*, Oak Brook, IL: Council of Logistics Management, p. 20.
86. Stock, J. R. (2001). Avoiding the “Seven Deadly Sins” of Reverse Logistics. 1<sup>st</sup> Reverse Logistics Pilot International Meeting. Spain.
87. Soto Valdespino, J. J. (1998). Ernesto Che Guevara. Temas económicos Editorial Ciencias Sociales. Ciudad de la Habana.
88. Suárez Rodríguez, R. et al., (1982). El almacenamiento de bagazo para la industria de derivados. Editorial Científico – Técnica. Ciudad de la Habana.
89. Tibben-Lembke, R. S. (2002). *Life after death: reverse logistics and the product life cycle* [International Journal of Physical Distribution & Logistics Management](#). Vol. 32 Nro 3, pp. 223-244
90. Tompkins, J. A. (2000). *No boundaries. Moving Beyond SCM*. Tompkins Press. North Carolina, USA.
91. Torres Gemeil, M. et al. (2003). *Logística. Temas Seleccionados. Tomo I. Primera Edición*. Editorial Feijoo. Ciudad de la Habana.
92. Transporte & Log (1999). *Logística: una visión sistémica*. En <http://www.transporte.com.uy/definicion/logistica.htm>
93. Trigueiro, F. G. (2003). *Logística Reversa: A Gestão do Ciclo de Vida do Produto*. En <http://www.guiadelogistica.com.br/Artigo439>
94. Urquiaga Rodríguez, Ana Julia (1999). Desarrollo del modelo general de la Organización para el análisis y diseño de los sistemas logísticos. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echevarría”. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Código 658.51 Urg D.
95. Valdés Delgado, A. et al. (2000). Contribución de la biomasa cañera al incremento del valor agregado de la producción azucarera. [Internacional Sugar Journal](#). Vol. CII. Nro 1222. pp.551-556.
96. Vana, J. (2000). *Biomasa jako obnovitelný zdroj energie*. En <http://www.vurv.cz/czbiom/cjen/jv/vana.html>
97. Waldheim, L. et al. (2000). *Biomass Power Generation: Sugar Cane Bagasse and Trash. Progress in Thermochemical Biomass Conversion*. Tyrol. Austria.

### **PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DEL AUTOR SOBRE EL TEMA DE LA TESIS**

1. Cruz Fonticiella, O., **Knudsen González, J.**, et al. (2001). Exportación de electricidad en el central Mariana Grajales. [Centro Azúcar](#). Nro 3. Año 28, pp. 30-37. Santa Clara. ISSN 0253-5777
2. Díaz Casañas, R., **Knudsen González, J.** (2004). Procedimiento para seleccionar proveedores en una cadena de suministro. Aplicación en una empresa azucarera para el suministro de residuos agrícolas cañeros. Evento IV Conferencia Internacional de Ciencias Empresariales. Santa Clara.
3. **Knudsen González, J.**, Cespón Castro, R. et al. (1996). Metodología para la selección de alternativas de transportación de la paja de caña. II Seminario Internacional de Ciencias Empresariales. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Matanzas.

4. **Knudsen González, J.** (1997). Procedimiento de mejora al sistema de gestión logístico del transporte de residuos agrícolas cañeros (RAC) en el CAI Luis Arcos Bernes. Universidad Camilo Cienfuegos de Matanzas. Tesis presentada en opción al grado académico de Master en gestión de producción.
5. **Knudsen González, J. & Rubio González, A.** (1998). Evaluación técnico económica de la transportación de los residuos agrícolas cañeros en la industria azucarera cubana. Centro Azúcar. Nro 3. Año 25, pp. 55-58. Santa Clara. ISSN 0253-5777
6. **Knudsen González, J.,** Roque Díaz, P. et al. (1998). Aumento de la generación de energía eléctrica en el central "Antonio Guiteras". Estudio para la entrega de energía eléctrica durante todo el año utilizando bagazo y paja de caña. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara. Informe de investigación terminada.
7. **Knudsen González J. & Fernández Clúa, Margarita** (1998). Evaluación de la transportación de residuos agrícolas cañeros en la industria azucarera. Revista Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia. Vol. 10, No 16, pp. 12-16. Antioquia.
8. **Knudsen González, J.,** Cespón Castro, R. & Ayala Bécquer, P. (1999 [a]). Planificación logística del transporte. Logística Aplicada No 5. pp.24-28. Ciudad de la Habana. ISSN 1026-0749
9. **Knudsen González, J.,** Cespón Castro, R. & Ibarra Mirón, S. (1999 [b]). Un modelo de planificación eficiente. Revista Mantenimiento y Almacenaje No 339, pp. 18-22. Barcelona. ISSN: 0025-2646
10. **Knudsen González, J.** (2000). Algunas consideraciones sobre la significación social del uso de la biomasa con fines energéticos. Trabajo presentado en el Examen de Mínimo de Problemas Sociales de la Ciencia y la Tecnología. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara.
11. **Knudsen González, J.,** Cespón Castro, R. & Marrero Delgado, F. (2003). Evaluación de la significación de los impactos ambientales en la cadena de suministro de los RAC en la Empresa Azucarera "Quintín Banderas". Evento 3<sup>ra</sup> Conferencia Medio Ambiente Siglo XXI. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara.
12. **Knudsen González, J.,** Cespón Castro, R., Marrero Delgado, F., Torres Guirola, N. & Morata Pacheco, F. (2003). Diseño y gestión de la cadena de suministro inversa de los residuos agrícolas cañeros para su aprovechamiento con fines energéticos en las Empresas Azucareras "Quintín Banderas" y "Chiquitico Fabregat". Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara. Informe de investigación terminada.
13. **Knudsen González, J.,** Cespón Castro, R., Marrero Delgado, F. & Díaz Casañas, R. (2004 [a]). Diseño y gestión de la cadena de suministro inversa del bagazo para la producción de tableros en la Fábrica "Omar Jacinto Rosado Alonso". Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara. Informe de investigación terminada.
14. **Knudsen González, J.,** Cespón Castro, R., Marrero Delgado, F., Remil Mesa, Marlen & Portal Batista, Livian (2004 [b]). Diseño y gestión de la cadena de suministro inversa de las mieles para la producción de alcohol en la Destilería "Héctor Molina". Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara. Informe de investigación terminada.
15. **Knudsen González, J.** Cespón Castro, R., Marrero Delgado, F. (2004 [c]). Cómo mejorar una cadena de suministro. Revista Énfasis Logística. No 45, pp. 36-40. México.
16. **Knudsen González, J.** Cespón Castro, R., Marrero Delgado, F. (2004 [d]). Procedimiento para el diseño y la gestión de cadenas de suministro inversas. Proceeding of IV International Conference on Applied Enterprise Science (International Symposium on Business Informatics). Santa Clara. Cuba, pp. 108-113. ISBN 3-8322-3143-9.

17. Pérez Egusquiza, F., **Knudsen González, J.** et al. (2002). *Art technology state for the use of the sugar cane agricultural waste in Cuba. Proceeding of 12<sup>th</sup> European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Amsterdam. The Netherlands.*
18. Pérez Egusquiza, F., **Knudsen González, J.** et al. (2004). Ingeniería básica para el uso de los RAC como combustible en la Empresa Héctor Molina. Santa Clara. Informe final de investigación. ICINAZ.
19. Roque Díaz, P., **Knudsen González, J.** et al. (1997). Central termoeléctrica trabajando con biomasa cañera en cooperación con un central azucarero. Estudios preliminares en el CAI "Abel Santamaría". Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara. Informe de investigación terminada.

## **PARTICIPACIÓN EN EVENTOS**

- I Taller Internacional Logística 94 (Ciudad Habana 1994) " Estudio del sistema logístico de distribución de vitroplantas producidas en una biofábrica "
- I Evento Logística-Marketing Log-Mark 95 (Camagüey, 1995) " Perfeccionamiento de un sistema logístico de distribución de vitroplantas "
- II Seminario Internacional de Ciencias Empresariales (Matanzas, 1996) " Metodología para la selección de alternativas de transportación de la paja de caña "
- III Seminario Internacional de Ciencias Empresariales (Matanzas, 1996) " Aplicación de técnicas de innovación organizativa a la actividad del transporte en empresas industriales "
- V Encuentro Nacional de Gestión Tecnológica (Villa Clara, 1997). " Aplicación de técnicas de innovación organizativa a la actividad del transporte "
- II Convención Internacional de las industrias metalúrgica y electrónica. METANICA' 97 (Ciudad Habana). " Aplicación de técnicas de innovación organizativa a la actividad del transporte en empresas del SIME "
- II Evento Logística-Marketing Log-Mark 99 (Ciudad Habana, 1999) " Gestión del transporte con enfoque logístico "
- V Taller Internacional Logística 99 (Ciudad Habana 1999) " Estudio del ciclo pedido entrega en la UCLV " y " Previsión de la cantidad de desechos ferrosos a recolectar en la provincia de Villa Clara "
- XII Fórum Municipal de Ciencia y Técnica (Santa Clara, 1998) " Aplicación del enfoque logístico a la gestión del transporte de los residuos agrícolas cañeros ". PREMIO Destacado.
- XIII Fórum Municipal de Ciencia y Técnica (Santa Clara, 1999) " Previsión de la cantidad de desechos ferrosos a recolectar en la provincia de Villa Clara ". PREMIO Relevante especial.
- I Seminario Internacional de Energía en la Industria Azucarera "Realidades en el uso de la paja de caña como combustible en la industria azucarera cubana en los últimos veinte años. (Ciudad Habana, 2000)
- I Simposio de Ingeniería Agrícola AGROCENTRO "Aprovisionamiento de energía renovable. Una actividad del transporte apoyando la diversificación de la industria azucarera". (Santa Clara, 2001)
- III Conferencia Internacional de Ciencias Empresariales "Aplicación de la filosofía cadena de suministro al aprovisionamiento de residuos agrícolas cañeros a un central azucarero" (Santa Clara, 2002)
- VI Evento Nacional de Logística y Marketing "Estudio del aprovisionamiento de los RAC a un central azucarero aplicando la filosofía cadena de suministro" (Santa Clara, 2002)

- III Conferencia Científica Internacional de Ingeniería Mecánica “Logística de aprovisionamiento de los residuos agrícolas cañeros a un central azucarero para su uso con fines energéticos” (Santa Clara, 2002)
- Twelfth European Biomass Conference, Biomass for energy, Industry and Climate Protection. (Amsterdam, Holanda, 2002)
- Segundo Congreso Internacional Virtual Agropecuario “Solución logística al almacenamiento de azúcar orgánico. Caso de la Planta Piloto de la Universidad Central de Las Villas en Cuba” (Universidad Nacional Autónoma de México, 2002)
- XIV Encuentro de Economía Agroindustrial Azucarera “Aplicación práctica de los residuos agrícolas cañeros” (Santa Clara, 2003). Premio.
- III Conferencia Internacional Medio Ambiente Siglo XXI “Evaluación de la significación de los impactos ambientales en la cadena de suministro de los residuos agrícolas cañeros para su uso con fines energéticos en una empresa azucarera. (Santa Clara, 2003).
- VIII Congreso Internacional sobre azúcar y derivados de la caña. “Procedimiento para el diseño y la gestión de cadenas de suministro inversas”. (Ciudad de la Habana, 2004).
- III Conferencia Internacional de Ciencias Empresariales “Procedimiento para el diseño y la gestión de cadenas de suministro inversas” (Santa Clara, 2004)

**Anexo 1: Comparación de los criterios para el diseño de un sistema logístico o de una cadena de suministro**

Autor	Aspectos	
	Positivos	Negativos
Gómez Acosta & Acevedo Suárez, 2001 a	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se logra un diseño integrado por recursos y actividades.</li> <li>• La integración garantiza el menor costo total posible con el máximo nivel de servicio al cliente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No tiene presente la secuencia en que deben ser diseñados los recursos y las actividades.</li> </ul>
Bender [1998]; Blanchard [2000]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toma como premisa un diseño y desarrollo integral y ordenado de la logística en la organización objeto de estudio.</li> <li>• La integración garantiza el menor costo total posible con el máximo nivel de servicio al cliente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No incluye los elementos de la integración organizativa relacionados con: las alianzas, los miembros y los procesos que integran la cadena.</li> </ul>
Tompkins [2000]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tendencia hacia el diseño de las actividades claves de la logística.</li> <li>• Incluye elementos de la gestión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No incluye los elementos de la integración organizativa relacionados con: las alianzas, los miembros y los procesos que integran la cadena.</li> </ul>
Acevedo Suárez et al. [2001]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orientación al diseño organizativo general.</li> <li>• Permite la integración de procesos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No declara el seguimiento y control de la cadena.</li> </ul>

[Fuente: Elaboración propia a partir de Bender, 1998; Blanchard, 2000; Tompkins, 2000; Acevedo Suárez et al., 2001 y Gómez Acosta & Acevedo Suárez, 2001|a|]

**Anexo 2: Principales miembros de una cadena de suministro de los RAC para su utilización con fines energéticos y ejemplos de las componentes claves que demandan sus clientes**

<b>Miembro de la cadena</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ejemplo</b>	<b>Componentes claves</b>
Cliente final	Es la organización que demanda el subproducto o producto obtenido después de transformado el residuo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema Electroenergético Nacional</li> <li>• Insumo de la empresa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrega de la cantidad de MW conveniados.</li> <li>• Entrega en el tiempo previsto.</li> </ul>
Cliente principal	Es la organización que demanda el residuo objeto de estudio	Empresa azucarera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características de calidad del residuo.</li> <li>• Entrega de la cantidad de RAC solicitados.</li> <li>• Entrega en el tiempo mínimo.</li> <li>• Niveles de inventario mínimo.</li> <li>• Costos logísticos mínimos.</li> </ul>
Proveedor principal	Es la organización capaz de proveer al cliente principal u otro cliente del residuo demandado.	Centros de beneficio	-
Proveedor inicial	Es la organización capaz de satisfacer las demandas del proveedor principal o de otros clientes con la materia prima que dará origen a los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar	CPA, CCS y UBPC	-

[Fuente: Elaboración propia]

**Anexo 3: Planteamiento del modelo general de programación lineal para la determinar las necesidades de recursos en la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar**

**Variables de decisión:**  $X_{mij}$ : Cantidad de toneladas de residuos del tipo  $m$  a transportar con el medio de transporte  $i$  desde el proveedor principal  $j$ .  $m=1, 2$   $i=1, \dots, 3$   $j=1, \dots, 5$  ( $t=2$ ;  $r=3$  y  $s=5$ )

**Restricciones**

a) Demanda de residuo del cliente principal

$$\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s X_{mij} = DE_m * (1 + p) \quad \text{para cada } m$$

b) Disponibilidad de los residuos en cada proveedor principal.

$$\sum_{i=1}^r X_{mij} \leq DI_{mj} \quad \text{para cada } j$$

c) Capacidad de carga de los medios de transporte

$$\sum_{j=1}^s X_{mij} \leq C_{mi} \quad \text{para cada } i$$

**Condición de no negatividad**  $X_{mij} \geq 0$

**Función objetivo**  $\text{MIN } Z = \sum_{m=1}^p \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s C_{mij} * X_{mij}$

Leyenda:

$DE_m$ : Demanda del tipo de residuo  $m$  por parte del cliente principal.

$p$ : Índice de pérdidas en los procesos de manipulación, almacenamiento y transporte.

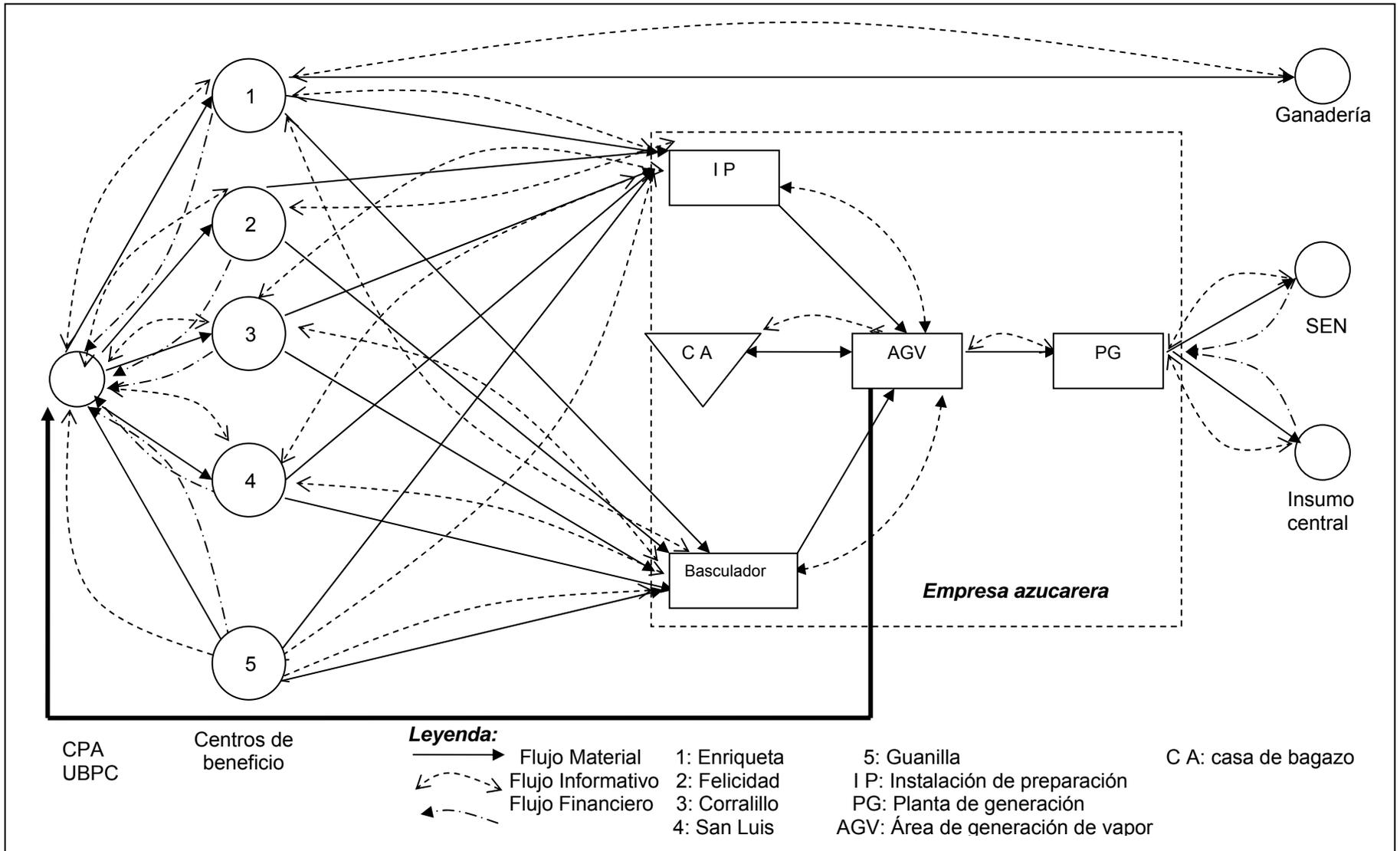
$DI_{mj}$ : Disponibilidad del residuo del tipo  $m$  en el proveedor  $j$ .

$C_{mi}$ : Capacidad máxima del medio de transporte  $i$  con el residuo del tipo  $m$ .

$C_{ij}$ : Costo por tonelada del residuo  $m$  transportado utilizando el medio de transporte  $i$  desde el proveedor principal  $j$ .

[Fuente: Elaboración propia]

Anexo 4: Red logística preliminar de la cadena de suministro de los RAC en la Empresa Azucarera “Quintín Banderas”



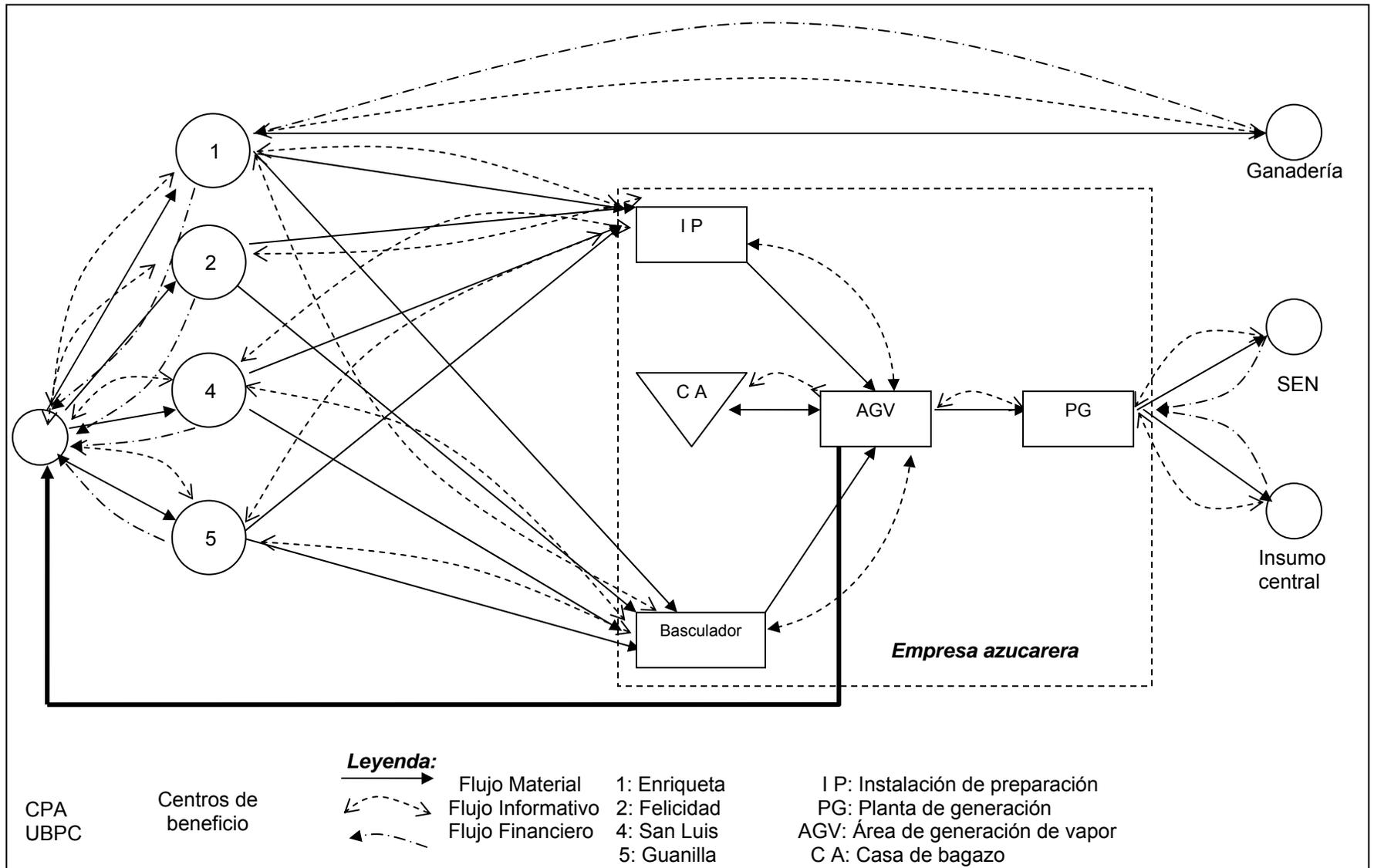
[Fuente: Elaboración propia]

**Anexo 5: Valoración del comportamiento del indicador integral para medir el desempeño actual de la cadena de suministro de los RAC en la Empresa “Quintín Banderas” antes de ser diseñada y gestionada a partir del procedimiento general**

<b>Criterios</b>	<b>Factores</b>	<b>Comportamiento</b>	<b>Causas fundamentales de las desviaciones</b>
a) Disponibilidad	Índice de RAC en caña	Se cumple al 80 %	• No se controla el índice de RAC en caña.
	Días de secado natural	Se cumple al 60 %	• No se cumplen los días previstos.
b) Característica de calidad	Tamaño de la partícula	Se cumple al 60 %	• Falta de control frecuente.
c) Utilización de instalaciones y recursos	Aprovechamiento capacidad de los centros	Se cumple al 94 %	• Desaprovechamiento del área de almacenamiento. • Desaprovechamiento de la capacidad de los medios de transporte. • Desaprovechamiento de la capacidad en el centro de preparación y en la casa de bagazo.
	Aprovechamiento capacidad del almacén	Se cumple al 54 %	
	Aprovechamiento promedio de la capacidad de los medios de transporte	Se cumple al 30 %	
	Utilización de la capacidad casa de bagazo	Se cumple al 90 %	
	Aprovechamiento de la capacidad en el centro de preparación de los RAC	Se cumple al 80 %	
d) Costo	Costo del centro de preparación	Se cumplen los valores planificados	• Aunque aparentemente no presentan dificultades los costos por manipulación y transporte pueden ser disminuidos.
	Costo de beneficio de la caña		
	Costo de manipulación en los centros		
	Costo de transporte de los RAC		
	Costo de almacenamiento de RAC		
e) Medio ambiente	Severidad del impacto	No se cumplen los valores planificados	• No se evalúa la severidad de los impactos e incumplimiento de los índices previstos.
	Índice de ocurrencia del impacto diaria		
	Índice de afectación ambiental anual		
f) Nivel de servicio al cliente	Tiempo de entrega	Se cumple al 60 %	• No se entregan los pedidos en el tiempo establecido y cuando es solicitado. • No existe flexibilidad en la cadena. • Las respuestas a las emergencias son muy demoradas.
	Tiempo del ciclo pedido- entrega	Se cumple al 60 %	
	Información sobre la situación del pedido	Se cumple al 60 %	
	Flexibilidad	Se cumple al 40 %	
	Respuestas a emergencias	Se cumple al 60 %	
<b>NDCS</b>			<b>76,0</b>

[Fuente: Elaboración propia]

Anexo 6: Red logística detallada de la cadena de suministro de los RAC en la Empresa Azucarera “Quintín Banderas”



[Fuente: Elaboración propia]

**Anexo 7: Valoración del comportamiento del indicador integral en la cadena de suministro de los RAC en la Empresa Azucarera “Quintín Banderas” después de diseñada y gestionada a partir del procedimiento general**

<b>Criterios</b>	<b>Factores</b>	<b>Comportamiento</b>	<b>Medidas a adoptar</b>
a) Disponibilidad	Índice de RAC en caña	Se cumplen los valores planificados	-
	Días de secado natural		
b) Característica de calidad	Tamaño de la partícula	Se cumple el plan	-
c) Utilización de instalaciones y recursos	Aprovechamiento capacidad de los centros	Se cumple al 94 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>Continuar aumentando el aprovechamiento de la capacidad en los centros de beneficio.</li> <li>Continuar aumentando el aprovechamiento de la capacidad de los medios de transporte y de los centros de preparación.</li> <li>Continuar aumentando el aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento.</li> </ul>
	Aprovechamiento capacidad de almacenamiento	Se cumple al 89 %	
	Aprovechamiento promedio de la capacidad de los medios de transporte	Se cumple al 83 %	
	Utilización de la capacidad casa de bagazo	Se cumple el plan	
	Aprovechamiento de la capacidad en el centro de preparación de los RAC	Se cumple al 80 %	
d) Costo	Costo del centro de preparación	Se cumplen el plan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Continuar disminuyendo los costos de manipulación, almacenamiento y transporte de los RAC.</li> </ul>
	Costo de beneficio de la caña		
	Costo de manipulación en los centros	Se logran ahorros con relación a los valores planificados	
	Costo de transporte de los RAC		
	Costo de almacenamiento de RAC		
e) Medio ambiente	Severidad del impacto	No se cumplen los valores planificados	<ul style="list-style-type: none"> <li>Continuar trabajando en la disminución de la severidad de los impactos y en la planificación de los índices.</li> </ul>
	Índice de ocurrencia del impacto diaria		
	Índice de afectación ambiental anual		
f) Nivel de servicio al cliente	Tiempo de entrega	Se cumple al 80 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>Continuar trabajando en la entrega de los pedidos en el tiempo establecido y cuando son solicitados.</li> <li>Seguir trabajando en la flexibilidad de la cadena para poder dar respuestas a las emergencias que puedan surgir.</li> </ul>
	Tiempo del ciclo pedido- entrega	Se cumple al 80 %	
	Información sobre la situación del pedido	Se cumple al 80 %	
	Flexibilidad	Se cumple al 80 %	
	Respuestas a emergencias	Se cumple al 80 %	
<b>NDCS</b>			<b>95,9</b>

[Fuente: Elaboración propia]

**Anexo 8: Resumen de algunos resultados obtenidos a partir de la aplicación del procedimiento general**

Indicador	Caso 1		Caso 2	Caso 3		Caso 4
	A	B		Antes	Después	Proyecto
Cantidad de residuo demandado (toneladas/año)	19 008	10 800	48 200	1 289	10 000	119 760
Días de funcionamiento de la cadena (días)	99	90	250	11	75	120
Cantidad de residuo aprovechado del disponible (%)	81	57	47	100	100	89
Incremento del aprovechamiento promedio de la capacidad de los medios de transporte (%)	53	47	23	57		98
Incremento del aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento (%)	35	58	32	74		87
Reducción de los niveles de inventario (%)	20	28	25	-		-
Ahorros en los costos de manipulación (miles de \$)	0,59	4,87	4,62	39,94*	310,00*	103,41*
Ahorros en los costo de almacenamiento (miles de \$)	0,08	5,39	2,43	0,528*	4,09*	40,19*
Ahorros en los costos de transporte (miles de \$)	4,51	4,61	15,84	3,36*	103,16*	42,30*
<b>Incremento del indicador NDCS (%)</b>	<b>19,9</b>	<b>16,1</b>	<b>7,1</b>	<b>15,4</b>		<b>91,1</b>

\* son costos no ahorros

[Fuente: Elaboración propia]

Leyenda:

Caso 1: Cadena de suministro de los RAC para su aprovechamiento con fines energéticos:

- a) En la Empresa Azucarera "Quintín Banderas".
- b) En la Empresa Azucarera "Chiquitico Fabregat".

Caso 2: Cadena de suministro de las mieles para la obtención de alcohol en la Destilería "Héctor Molina"

Caso 3: Cadena de suministro del bagazo para la producción de tableros en la Fábrica de Tableros "Omar J. Rosado Alonso"

Caso 4: Cadena de suministro de los RAC para su aprovechamiento con fines energéticos en la Empresa Azucarera "Héctor Molina"

### Anexo 9: Beneficios que se obtienen con la aplicación del procedimiento general

Beneficios	Cadena de suministro			Indicador
	RAC	Bagazo	Miel	
<b>Ambiental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empleo de un combustible renovable en la generación o cogeneración de energía eléctrica.</li> <li>• Freno a la tala indiscriminada de árboles.</li> </ul>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toneladas de combustible fósil dejado de consumir.</li> <li>• Metros cúbicos de leña dejados de consumir.</li> </ul>
	Contribución a la gestión ambiental de las empresas miembros en la cadena			Índices del indicador NDCS
<b>Económico</b>	Ahorro de combustibles fósiles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reanimación de la economía nacional.</li> <li>• Sustitución de importaciones y posibilidad de incrementar las exportaciones.</li> </ul>		Toneladas de combustible fósil dejado de consumir.
	Ahorros en los costos de los procesos de manipulación, almacenamiento y transporte			Costos de los procesos logísticos del NDCS
<b>Social</b>	Aumento en la disponibilidad de energía eléctrica en el SEN.	Aumento de las disponibilidades de tableros para ser utilizados como sustituto de la madera construcciones sociales.	Incremento de las disponibilidades de alcohol para el consumo doméstico y en la industria farmacéutica	Nivel de empleo en las empresas del sector azucarero
	Creación de fuente de empleo para las empresas miembros de la cadena			
<b>Metodológico</b>	Se le brinda al MINAZ un procedimiento que le permite aprovechar estos residuos considerando criterios relacionados con la disponibilidad, las características de calidad, el aprovechamiento de las instalaciones y los recursos, los costos, el medioambiente y el nivel de servicio al cliente.			Grado de generalización alcanzado

[Fuente: Elaboración propia]