



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“ESQUEMA DE JUSTICIA Y PLANEACION ÓPTIMA PARA LA
PRODUCCION DE BIOCOMBUSTIBLES CONSIDERANDO
ASPECTOS AMBIENTALES, ECONOMICOS Y SOCIALES”**

TESIS presentada por:

MOISES FERREYRA QUIROZ

**A la División de Estudios de Licenciatura de la Facultad
de Ingeniería Química como requisito parcial
para obtener el grado de:**

Licenciado

en

Ingeniería Química

Morelia, Michoacán

Septiembre 2020

Índice General

	pág.
Agradecimientos	4
Resumen	5
Abstract	6
Capitulo I	
Introducción	7
Justificación	12
Objetivo general	12
Objetivo secundario	12
Hipótesis	13
Capitulo II	
Antecedentes	14
Esquema de Rawls	26
Esquema de Nash	27
Capitulo III	
Caso de estudio	30
Capitulo IV	
Metodología	33
Funciones objetivo	46
Función objetivo económica	46
Función objetivo ambiental	51
Función objetivo social	53

Método stakeholder	54
Capítulo V	
Resultados	56
Conclusiones	60
Nomenclatura	61
Bibliografía	67
Referencias	68
Anexos	71

Índice de Tablas

Tabla 1.0 análisis de sensibilidad	57
------------------------------------	----

Índice de Figuras

Figura 1.0 esquema de bienestar social y su enfoque	10
Figura 1.2 Principios de Rawls	26
Figura 1.3 Esquema de Nash	28
Figura 1.4 Representación esquemática del problema abordado	31
Figura 1.5 Resumen de la estructura en cada planta de procesamiento	32
Figura 1.6 Resultados de GAMS	57

Índice de Graficas

Grafica 1.0 Valores de TOTALPR	58
Grafica 1.1 Análisis de sensibilidad para las funciones objetivos	59

Agradecimientos

A lo largo de mi vida he cumplido metas y objetivos tanto personales como profesionales, sin embargo, no lo hubiera logrado si no fuera por la ayuda de las personas más importantes de mi vida, mi titulación es un ejemplo claro de ellos. Quiero agradecer desde lo mas profundo de mi ser a mis padres quienes han sido mis mayores ejemplos de vida, son mis más grandes confidentes y cómplices, mis primeros maestros, simplemente los mejores padres que pueden existir. Ellos me han enseñado las lecciones más grandes y que me han formado la persona que soy hoy en día. También, me han enseñado que la perseverancia, empeño, dedicación y el amor por la familia es lo que forma a una buena persona. palabras faltan para explicar lo que realmente siento por ellos, solamente se que son lo mas valioso que tengo y que el amor y agradecimiento que tengo por ellos es infinito. A pesar de la distancia durante mis años de universidad siempre caminaron de mi mano, y fueron mi apoyo incondicional en todos los aspectos espero un día regresarles un poquito de todo lo que me han dado, esto no es un logro solo mío si no de ellos también.

Quiero agradecer también a todos mis hermanos, que siempre han sido mis ejemplos a seguir, a veces las circunstancias no son las mejores, pero de ellos aprendí que siempre se tiene que superar las adversidades y salir adelante a pesar de todas las dificultades y sé que ellos lo han logrado. Sin importar la distancia siempre tuve su apoyo y que sé que si algún día ocupo a alguien siempre estarán ahí para mí. Por otra parte, quiero agradecer a mis tías Adriana y Rosa que fueron como unas segundas madres estos años de mi carrera, que siempre velaron por mi bienestar y estuvieron para mí en tiempos difíciles.

Por último, agradecer a una persona que es muy importante de mi vida y siempre ha estado a mi lado desde el momento que la conocí, mi novia Marlen, gracias a ti y a tu familia por apoyarme y estar en los momentos difíciles por los que pasé, eres un pilar de este logro y también es tuyo.

Resumen

Esta Tesis presenta un modelo de optimización para diseñar y planificar cadenas de suministros sustentables de biorefinarias que considera numerosos problemas relevantes. Estos problemas son las múltiples materias primas disponibles en distintos sitios de cosecha, la disponibilidad y estacionalidad de los recursos de biomasa, las diferentes locaciones geográficamente potenciales para incluir plantas de proceso que produzcan múltiples productos usando diversas tecnologías, economías de escala para tecnologías de producción, demanda y precios de productos múltiples en el mercado, localización de las instalaciones de almacenamiento y el número de modos de transporte entre los componentes de la cadena de suministros. En el presente proyecto de Tesis se propone desarrollar modelos de programación matemática que permitan optimizar de manera favorable la producción de biocombustibles considerando los aspectos socioeconómicos para obtener la mayor ganancia posible y ejecutar un sistema de justicia para la repartición de los bienes equitativamente.

Moisés Ferreyra Quiroz, Agosto 2020

Dirigido por: Dr. José María Ponce Ortega

Entidad educativa: Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo

Título de la investigación: ESQUEMA DE JUSTICIA Y PLANEACIÓN ÓPTIMA PARA LA PRODUCCION DE BIOCMBUSTIBLES CONSIDERANDO ASPECTOS AMBIENTALES, ECONOMICOS Y SOCIALES

Palabras Claves

Esquema de justicia, optimización, cadenas de suministro, stakeholders, maximizar, ganancia, biorefinerías.

Abstract

This study presents an optimization model to design and planning sustainable biorefinery supply chains that considers numerous relevant issues. These issues include the multiple available biomass feedstocks at various harvesting sites, the availability and seasonality of biomass resources, different potential geographical locations for processing plants that produce multiple products using diverse production technologies, economies of scale for the production technologies, demands and prices of multiple products in each market, locations of storage facilities and a number of transportation modes between the supply chain components. In this Thesis, it is proposed to develop mathematical programming models that allow optimizing the production of biofuels in a favorable way, considering the socioeconomic aspects to obtain the highest possible profit and execute a justice scheme for the equitable distribution of goods.

Moisés Ferreyra Quiroz, Agosto2020

Supervised by: Dr. José María Ponce Ortega

*Educational entity: Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Michoacana
de San Nicola de Hidalgo*

Research title: JUSTICE AND OPTIMAL PLANNING SCHEME FOR THE PRODUCTION OF BIOFUELS CONSIDERING ENVIRONMENTAL, ECONOMIC AND SOCIAL ASPECTS

Keywords

Scheme of justice, optimization, supply chains, stakeholders, maximizing, profit, biorefineries.

CAPITULO I

Introducción

Los investigadores han desarrollado nuevas técnicas para producir un modelo de desarrollo tecnológico y económico que sea amigable con la conservación del medio ambiente y equidad social. El desarrollo sustentable se define como "el desarrollo que cumple con las necesidades de la humanidad sin afectar el entorno y bienestar de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades". Esto se remonta a los años 50, cuando surgieron varios cambios en el medio ambiente causados por la segunda guerra mundial (uso de energías nucleares y combustibles fósiles).

El desarrollo sustentable se basa en tres aspectos analíticos:

1. Un desarrollo que incorpore la satisfacción de las generaciones presentes.

Un desarrollo que incorpore la satisfacción de las generaciones presentes significa el trabajo en conjunto de nuevas instituciones con los poderes políticos que reorganicen la vida cotidiana y reproducción social. Sin embargo, se tienen que abordar tres aspectos esenciales:

- Patrón demográfico. El aumento de la población y reducción de mortalidad han ocasionado un aumento exponencial en el consumo de alimentos y energías no renovables, que deriva de una crisis económica y alimentaria en algunas partes del mundo.
- Equidad social. Para alcanzar la equidad social es necesario redefinir leyes políticas para lograr una mejor distribución del ingreso, generando empleos, esto impulsara el crecimiento económico y social. Además, el crecimiento deberá integrar el cuidado de recursos naturales y medio ambiente.
- Creación de políticas para las nuevas instituciones. La reforma política es una condición necesaria para el desarrollo sustentable y a través de ella reducir la desigualdad social y evitar la destrucción del medio ambiente, promoviendo decisiones políticas integrales que traten aspectos

económicos no dejen de lado el impacto social o ambiental que esa política tendría.

2. Cuidado del medio ambiente.

La premisa central del cuidado del medio ambiente implica que el desarrollo no debe dañar el medio ambiente ni agotar los recursos naturales. Esta premisa, presentada en el informe de Brundtland en el año 1987 por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, promueve la reflexión sobre cómo compatibilizar las necesidades y aspiraciones de las sociedades humanas, con el mantenimiento de la integridad de los sistemas naturales.

3. Desarrollo que no afecte los derechos de las futuras generaciones.

Si bien es difícil definir cuáles podrían ser las necesidades básicas de las generaciones no nacidas, qué deberán satisfacer y cómo lo harán, la justicia intergeneracional es una condición ligada tanto a la equidad social como a la conservación del medio ambiente en el momento actual. Por lo tanto, mantener la conservación de los ecosistemas y el medio ambiente es también un requisito de la sustentabilidad de las generaciones presentes

Actualmente, la demanda de energía ha incrementado mundialmente que ha llevado al uso alternativo de combustibles fósiles (energías no renovables). Como es bien sabido, las reservas de los combustibles fósiles han disminuido a lo largo de los años y han afectado al medio ambiente desgastando la capa de ozono. Hay problemas relacionados a los cambios climáticos causados por la emisión de gases que generan el efecto invernadero, (GHGE por sus siglas en inglés), gracias al uso de combustibles fósiles. Estas dificultades han llevado a científicos e investigadores a desarrollar nuevas fuentes de energías que reduzcan el impacto ambiental causado por los combustibles fósiles y mejorar el desarrollo sustentable. Consecuentemente, las propiedades de la biomasa han permitido producir diferentes productos que pueden sustituir a los combustibles fósiles

(biocombustibles, polímeros, productos químicos, etc.), esto ha motivado a muchos investigadores y compañías a desarrollar nuevas tecnologías para el diseño de biorefinerías. Las biorefinerías han sido identificadas como el camino más prometedor para la creación de una nueva industria basada en la biomasa.

Las biorefinerías son instalaciones que de un modo sostenible transforman biomasa en un amplio espectro de productos energéticos, alimentos, piensos, fertilizantes y bioproductos o “bio-based products”. La biomasa es la materia prima de una biorefinería del mismo modo que el petróleo es la de una refinería tradicional. En las biorefinerías, la materia prima son recursos biológicos como los cultivos tradicionales, residuos orgánicos de origen agrícola, ganadero, forestal, industrial o urbano, o incluso micro algas. En este sentido, es muy importante considerar que este nuevo “carbono verde” no entre en competencia con aquellas fuentes destinadas a la alimentación.

Esquema de bienestar social

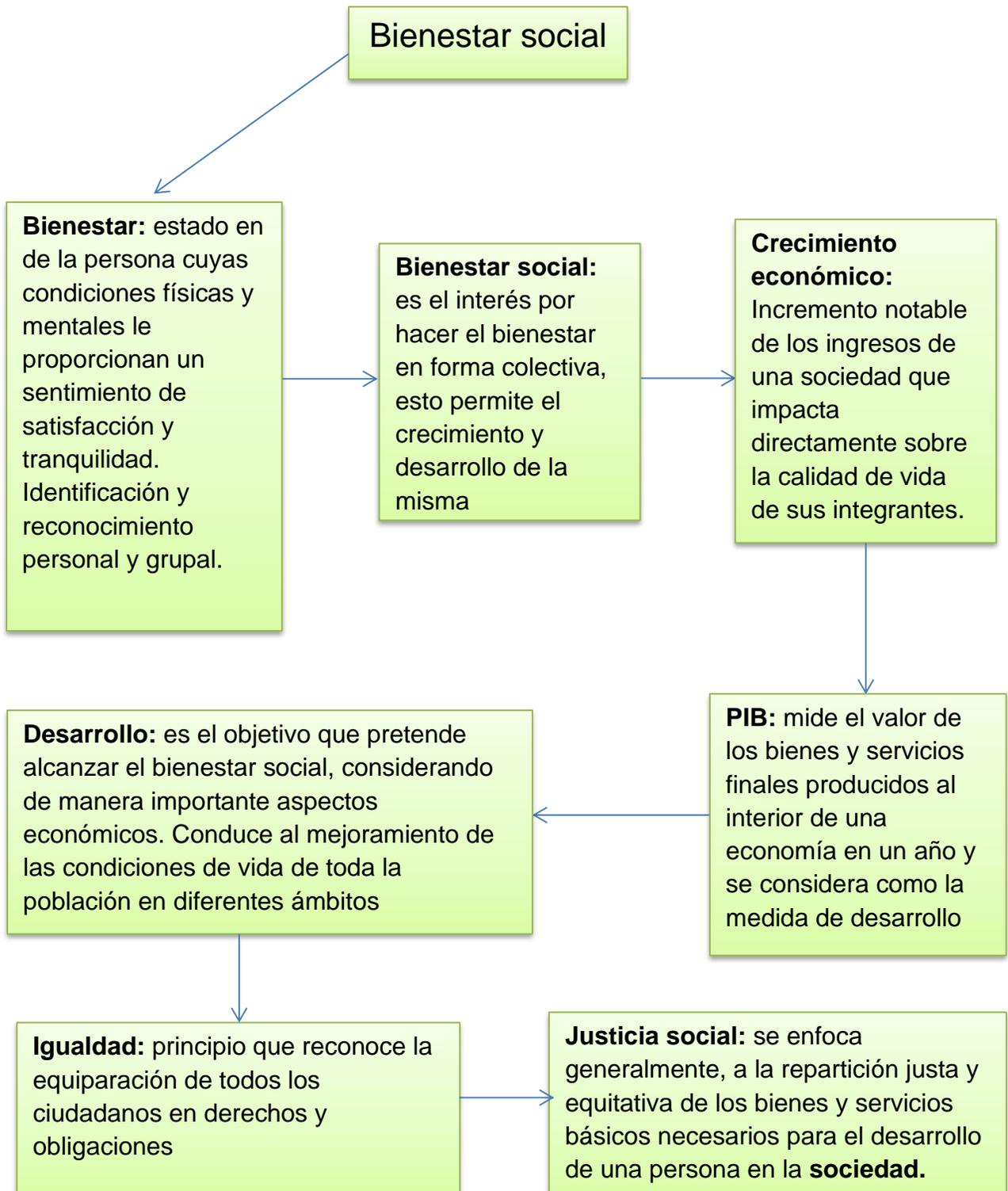


Figura 1.0 Esquema de bienestar social y su enfoque.

El enfoque de bienestar social es comúnmente usado en la literatura ingenieril para ubicar la utilidad entre las partes interesadas. Para este esquema, conocido como el principio de utilidad clásica, la asignación de recursos al maximizar la suma de las utilidades. En el bienestar económico, la asignación resultante es conocida como la solución de Bentham-Edgeworth. Mientras que, en aplicaciones ingenieriles, es la solución óptima del sistema; y en telecomunicaciones, es la mejor solución de esfuerzo.

Si la suma de utilidades es la utilidad media, que representa una mitad de la eficacia del sistema, entonces la solución utilitaria es un objetivo natural. De otra manera, ya que la función de utilidad total es una solución afina, la solución puede ser no única, el cual resulta en múltiples asignaciones que llevan a la misma utilidad total. Además, el problema es a menudo degenerado resultando en dificultades que calculen todas las asignaciones posibles. En este contexto, el principio de utilidad ha sido criticado ya que la utilidad de ciertos partidarios puede ser reducidos significativamente a fin de lograr el beneficio máximo del sistema. Particularmente en un ambiente competitivo con partidarios de intereses propios, este esquema puede llevar a desigualdades importantes entre las utilidades derivadas de las partes interesadas. Aquí es donde la justicia en la decisión de asignaciones podría ser útil. Sin embargo, un impacto negativo en la eficiencia del sistema sería señalado, resultando en compensaciones entre eficiencia y justicia.

Justificación

Alrededor del mundo, el tema de la justicia salarial se ha hecho de gran importancia día con día. Como tema de relevancia social, cultural y económica, la justicia salarial se ha vuelto de cierta manera una forma de medir el desarrollo de una empresa. Es bien sabido en el mundo que todo empleado busca algún trabajo donde se les garantice un trato equitativo y justo. Esto permitirá un mejor desempeño de los trabajadores el cual reeditará un mayor crecimiento económico y social. Existen dos conceptos que influyen directamente de forma directa en la motivación que se tiene en el puesto de trabajo: conseguir un trato equitativo y obtener reconocimiento por la tarea desempeñada.

Las empresas buscan generar una equidad interna teniendo en cuenta dos consideraciones básicas, el valor del empleado y la igualdad. Las empresas buscan la equidad interna como una comparación entre la cantidad de trabajo desempeñado por cada empleado y lo que reciben a cambio como producción y rendimiento. Los empleados están relacionados con la equidad interna en cuanto a un sistema de remuneración equitativa, beneficios y recompensas por el trabajo que realizan. Los programas internos de equidad bien establecidos motivarán bien a los empleados desde el punto de vista de los recursos humanos y por lo general para hacer una mejor inversión para la empresa.

El tema de justicia salarial influye altamente en los esquemas de justicia ya que muchas veces la repartición de bienes no es totalmente equitativa.

Objetivo general

Esta tesis tiene como principales objetivos desarrollar una modelación matemática la cual nos permita saber, no la ganancia total del proyecto, si no la ganancia en sectores específicos que formen parte del proyecto global y aplicar los sistemas de justicia de Rawls y Nash para una mejor repartición de los bienes de los sectores involucrados mediante un modelo matemático.

Objetivos secundarios

- Tener en cuenta los ecos indicadores que genere cada sector y su influencia en el esquema de justicia.

- Incluir el impacto social que generarían los sectores considerando los empleos asociados y su influencia en el esquema de justicia

Hipótesis

Con el uso de un modelo MILP multiobjetivo, modificar la metodología para el cálculo del impacto ambiental, económico y social individualmente para cada sector, será posible aplicar esquemas de justicia y hacer la repartición de bienes equitativamente a lo partidarios.

CAPITULO II

Antecedentes

Durante las últimas tres décadas muchos investigadores se han tomado la tarea de desarrollar diversas evaluaciones que integren distintos conceptos e investigaciones para llevar a cabo el desarrollo sustentable. En este contexto, ⁱJansen (2003) identificó tres conceptos relevantes para el desarrollo sustentable: las interacciones entre cultura, estructura y tecnología, los enfoques de optimización/mejora/renovación y las partes involucradas. ⁱⁱVachon, Mao (2008) evaluaron el enlace entre las características de la cadena de suministros y los tres conceptos nombrados de sustentabilidad. Una visión general ambiental, social, e indicadores de huellas económicas pueden ser usados para medir la sustentabilidad que fue presentado por ⁱⁱⁱCucek et al. (2012). Recientemente, ^{iv}Lozano (2008) propuso el concepto de un equilibrio de sustentabilidad de dos niveles para representarlo. Este concepto se centraliza en la interacción entre los económico, ambiental, social y otros aspectos a lo largo del tiempo. Después de analizar algunos reportes de sustentabilidad de tres compañías usando una perspectiva holística ^vLozano, Huisinigh (2011) identificaron las conexiones entre los conceptos económicos, ecológicos y sociales, y en ciertos casos, fueron capaces de relacionar estas conexiones al tiempo. Por lo tanto, estos autores propusieron una nueva categoría, "Cuestiones y dimensiones interrelacionadas", como la etapa final en el reporte de análisis de sustentabilidad. Esta categoría pudo ayudar a compañías a abordar los horizontes ecológicos / sociales a corto y largo plazo junto con el enfoque económico. En un estudio adicional, ^{vi}Lozano (2012) proporcionó un análisis de dieciséis iniciativas de las más utilizadas que se han desarrollado para contribuir a los factores de sustentabilidad. Este investigador propuso el marco de "Integración corporativa de iniciativas voluntarias para la sustentabilidad" para entender y aplicar mejor las iniciativas de sustentabilidad corporativa.

Actualmente, la creciente demanda de energía en el mundo ha llevado a varios desafíos asociados con el uso de combustibles fósiles. Además del agotamiento continuo de las reservas de combustibles fósiles, hay problemas sustanciales

relacionados con el cambio climático causado por el efecto invernadero, que a su vez es causado por la quema de combustibles fósiles. Estos cambios han impulsado la investigación para desarrollar nuevas fuentes de energía y modernas tecnologías bajas en carbono que pueden reducir lo negativo del impacto ambiental por combustibles fósiles y mejorar la economía y aspectos sociales de la sustentabilidad. En este contexto, la biomasa ha ido ganando fuerza para ser considerada como la materia principal de alimentación para la producción de nuevas fuentes de energía. ^{vii}La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica.

Desde tiempos remotos el hombre ha utilizado la biomasa como fuente energética para realizar sus tareas cotidianas. Cuando el uso de combustibles fósiles comenzó a tomar fuerza, la biomasa se vio relegada a un plano inferior, donde su aportación a la producción de energía primaria era insignificante. En la actualidad debido a diversos factores, detallados a continuación, ha habido un resurgimiento de la biomasa como fuente energética.

Los factores responsables de favorecer la biomasa como fuente energética son:

- El encarecimiento del precio del petróleo.
- El aumento de la producción agrícola.
- Necesidad de buscar usos alternativos a la producción agrícola.
- Cambio climático.
- Posibilidad de utilizar los conocimientos científicos y técnicos para optimizar el proceso de obtención de energía.
- Marco económico favorable para el desarrollo de plantas que utilizan biomasa como combustible, gracias a las subvenciones a la producción que reciben las plantas generadoras de energía con esta fuente.
- Dificultad normativa para desarrollar otro tipo de proyectos, dejando a la biomasa como la alternativa más razonable para rentabilizar una inversión económica.

Recientemente, ^{viii}Bao y col. (2011) desarrollo un método corto para sintetizar y representar biorefinerías integradas. En esta evaluación, una representación estructural se usa para rastrear productos químicos individuales mientras permiten el procesamiento de múltiples productos químicos en tecnologías de producción.

^{ix}Ng (2010) presentó un procedimiento de focalización automatizado basado en la optimización para determinar la producción máxima de biocombustibles y los niveles de ingresos en una biorrefinería integrada. ^xPham, El-Halwagi (2012) propusieron un enfoque novedoso y sistemático de dos etapas para sintetizar y optimizar una configuración de biorrefinería dada la materia prima disponible y los productos deseados. Adicionalmente, ^{xi}Ponce-Ortega y col. (2012) propusieron una aproximación sistemática general para seleccionar las rutas óptimas para el diseño de biorefinerías. Además, ^{xii}Aksoy y col. (2008) propusieron un método para diseñar biorefinerías integradas. Sin embargo, los enfoques anteriores no han considerado optimizar la cadena de suministro para las biorefinerías.

Con respecto a la optimización de cadena de suministros para biorefinerías, ^{xiii}Sammons y col. (2007) propusieron un marco esquemático para optimizar la cartera de productos y procesar la configuración en biorefinerías integradas. ^{xiv}Sammons y col. (2008) desarrollaron una metodología para asistir la industria de bioprocesos evaluando la ganancia de las diferentes rutas de producción posibles y de la cartera de productos mientras se maximiza el valor de los partidarios a través de un modelo de programación lineal de números íntegros mixtos presentado por ^{xv}Van Dyken y col. (2010). Este modelo fue desarrollado para diseñar SC basados en biomasa. ^{xvi}Elms y El-Halwagi (2009) presentaron un procedimiento para programar y operar plantas de biodiesel considerando diversas opciones de materia prima. ^{xvii}Bowling y col. (2011) incluyeron el efecto de las economías de escala en la selección, el tamaño, la ubicación y la planificación de un sistema de biorefinería multisitio. ^{xviii}Akgul y col. (2011) presentaron modelos MILP para diseñar de manera óptima la cadena de suministros del bioetanol. ^{xix}Aksoy y col. (2011) estudiaron cuatro tecnologías de biorrefinería para la asignación de materias primas, la ubicación óptima de las instalaciones, la viabilidad económica y sus impactos económicos en Alabama. ^{xx}Corsano y col. (2011) propusieron un modelo de

optimización de programación no lineal de enteros mixtos (MINLP) para un diseño sustentable y un análisis de comportamiento de la cadena de suministros del azúcar y etanol. Además, ^{xxi}Kim y col. (2011) presentaron un modelo general de optimización que permite la selección de tecnologías para la conversión de combustibles, capacidades, locaciones de biomasa y la logística de la transportación desde una localización de recursos de silvicultura hasta sitios de proceso y mercados finales. ^{xxii}Mansoornejad y col. (2010) presentaron una metodología que vincula la cartera de productos/procesos de diseño para tomar decisiones óptimas a largo plazo para biorefinerías forestales. Vale la pena señalar que los enfoques anteriores solo han incluido diferentes objetivos económicos para optimizar la cadena de suministros de la biorefinería.

Para evaluar el impacto ambiental, ^{xxiii}Cherubini y col. (2009) evaluaron diferentes tecnologías para la producción de biocombustibles basadas en la eficiencia energética mientras se considera el impacto ambiental usando una aproximación simple de optimización. Esta aproximación no incluye las compensaciones entre los objetivos económicos y ambientales. ^{xxiv}Herva y col. (2011) clasificaron una serie de impacto ambiental que se puede aplicar para evaluar procesos de producción y productos. ^{xxv}Hugo, Pistikopoulos (2005) presentaron una herramienta de optimización multiobjetivo, en la cual se consideran objetivos económicos y ambientales dentro la optimización de la cadena de suministros. ^{xxvi}Zamboni y col. (2009) propusieron un marco de modelaje general para impulsar el proceso de toma de decisiones para diseñar estratégicamente redes de cadena de suministros de biocombustibles, donde la tarea de diseño fue formulada como un problema MILP que considera la minimización simultánea de los costos operativos de la cadena de suministro y el impacto ambiental. ^{xxvii}Mele y col. (2009) reportaron un esquema de optimización MILP para diseñar cadena de suministros de biorefinerías en base a la caña de azúcar que involucra asuntos económicos y ambientales. ^{xxviii}You, Wang (2011) presentaron un modelo de optimización para diseñar y planificar cadena de suministros para biomasa y combustibles líquidos que estén basados en criterios ambientales y económicos. ^{xxix}Santibáñez-Aguilar y col. (2011) reportaron un modelo de optimización multiobjetivo para optimizar una biorefinería. Este enfoque

maximiza simultáneamente las ganancias mientras minimiza el impacto ambiental. Recientemente, ^{xxx}You y col. (2012) propusieron un nuevo cálculo para panificar cadenas de suministros de biocombustibles considerando objetivos ambientales, económicos y sociales. Por otro lado, las metodologías reportadas previamente para cadena de suministros biocombustibles no han considerado simultáneamente el criterio de sustentabilidad. ^{xxx}Miret, Chazara y col. (2016) desarrollaron un nuevo método que resolviera un modelo matemático multiobjetivo para la optimización de una cadena de suministro de biomasa, el cual se basó en todos los pilares del desarrollo sustentable. ^{xxx}Santibañez-Aguilar, Morales-Rodriguez y col. (2016) propusieron un método para el diseño de cadenas de suministro de biorefinerías cuando se presenta incertidumbre. Esta aproximación es para manejar datos inciertos e interpretar resultados. Un modelo propuesto capaz de determinar los números óptimos, las ubicaciones, la capacidad de las instalaciones, los modos de transporte adecuados, la tecnología adecuada en la biorefinería, el flujo de materiales y la planificación de la producción en diferentes períodos fue creado por ^{xxx}Babazadeh (2017). ^{xxx}Rex T.L. Ng y col. (2017) desarrollaron un modelo de programación lineal de enteros mixtos (MILP) para el diseño y la planificación operativa de cadenas de suministro de biocombustibles celulósicos. Por otra parte, ^{xxx}Fattahi (2018) se enfocó en el diseño y planeación de una red de cadena de suministro para biocombustibles usando un programa estocástico de varias etapas rentable en el que se mitigan las emisiones de gases de efecto invernadero y el impacto social de la cadena de suministros. ^{xxx}Castillo-Romo, Morales-Rodríguez (2018) abordaron la formulación y solución de un modelo de optimización multiobjetivo de una superestructura de proceso para la conversión de biomasa lignocelulosa en biocombustibles y productos, donde los criterios sociales, económicos, ambientales y socioeconómicos están incluidos en la formulación de la función objetivo. El modelo resultante de la optimización es un problema MINLP (Programación no lineal de enteros mixtos). Además, ^{xxx}Panteli, Giarola (2018) generaron un marco de modelación general concebido para dirigir la toma de decisiones con respecto al diseño estratégico y la planificación sistemática de las redes avanzadas de suministro de biorefinería. La tarea de diseño se formula como

un programa lineal de enteros mixtos que explica la maximización de las ganancias de la cadena de suministro, teniendo en cuenta aspectos de múltiples etapas, múltiples períodos, múltiples materias primas y multi productos, así como características espacialmente explícitas. Un nuevo método fue presentado por ^{xxxviii}Gao y col. (2019) para medir los beneficios sociales de las cadenas de suministro de bioetanol que considera la creación de empleo, la compra de biomasa y los diferentes impactos de las actividades económicas en diferentes lugares. Este se basa en el desarrollo de un modelo de programación lineal de enteros mixtos multipropósito (MILP) para abordar el diseño óptimo de una cadena de suministro de bioetanol que maximiza los beneficios tanto económicos como sociales. ^{xxxix}Babak-Rasmi (2019) presento un modelo de aplicación de objetivos múltiples para analizar los pilares económicos, sociales, ambientales y culturales de manera inclusiva, el modelo resultante incluye una representación precisa del problema con variables binarias y continuas bajo consideraciones de sostenibilidad.

En el caso de los esquemas de justicia, se usó la metodología stakeholder. Los stakeholders son: "Cualquier individuo o grupo que puede afectar o ser afectado por el logro de los objetivos de una organización" (Freeman, 1984). Siguiendo a Freeman (1984) y Carroll (1993), el enfoque de los stakeholders se refiere a la culminación de tres fases en la evolución de la visión de la organización. La primera fase se consideraba la "visión productiva", seguida de la "visión directiva" en la cual se incluía la primera visión, teniendo en cuenta a los propietarios y los empleados, además de los proveedores y clientes de la organización. Finalmente se llegó al enfoque de los stakeholders que mantiene una visión de la organización situada entre un conjunto de actores interesados en sus acciones.

En 1984 Freeman fue el primero en proponer los stakeholders como una estrategia de la administración, declarando que las organizaciones tenían que considerar no sólo las necesidades de los inversionistas, sino también las de los demás interesados. El concepto de stakeholders incluye además de los accionistas a los clientes, empleados, proveedores, competidores y a la comunidad en general (Ronald, 2005). En este trabajo se plantea que en el proceso de ejecución de un

proyecto de desarrollo socio-económico en los territorios rurales no sólo se deben considerar los intereses de las entidades financiadoras y ejecutoras, sino también los de los demás grupos presentes en el territorio rural: organizaciones sociales, sindicatos, entidades internacionales, ONG e instituciones públicas.

Los stakeholders se pueden clasificar en primarios y secundarios. Para efectos de este trabajo se llamarán primarios a las entidades financiadoras públicas y/o privadas y a la población objetivo del proyecto; y se denominarán secundarios a las demás instituciones y población presentes en el territorio de interés del proyecto, es decir, aquellos stakeholders que afectan de manera voluntaria o involuntaria el desarrollo del proyecto. En la teoría los stakeholders se evidencian tres atributos que pueden ser utilizados para la identificación, clasificación y manejo de los stakeholders y que definen su capacidad de intervención en el progreso de una visión de desarrollo. Estos son poder, legitimidad y urgencia (Olander y Landin, 2005). El poder se refiere a la existencia o posibilidad de un actor social de obtener recursos coercitivos (fuerza física, armas), recursos utilitarios (tecnología, dinero, conocimiento, logística, materias primas), recursos normativos (leyes, normas, decretos) y recursos simbólicos (prestigio, estima, carisma) para imponer su voluntad sobre otro(s) en una relación. La legitimidad hace referencia a la percepción generalizada de que las acciones de un actor social (persona, organización, marca, símbolo, etc.) son deseables o apropiadas dentro de ciertos sistemas socialmente construidos de normas, valores, creencias y definiciones, y la urgencia consiste en la atención inmediata en función de diferentes grados de sensibilidad temporal y criticidad equivalente, teniendo en cuenta la posibilidad de daño a la propiedad, sentimiento, expectativa y exposición. Estos atributos son los que permiten la identificación y clasificación de los stakeholders.

Estos se clasifican de acuerdo a la tenencia de uno, dos o tres atributos, y la forma en que son combinados para intervenir. Según esta clasificación se podrá formular estrategias de manejo. En la medida que posean más atributos aumenta la probabilidad de afectar el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Clasificación de los stakeholders

Las clases de stakeholders definidas por Freeman se definen en términos de la combinación de los tres atributos: poder, legitimidad y urgencia. En total son siete clases de stakeholders.

Stakeholders latentes: esta clasificación se refiere a aquellos actores de un territorio que presentan sólo uno de los tres atributos posibles, y aunque tienen poca interacción con la entidad ejecutora del proyecto, se deben tener en cuenta ya que estos pueden adquirir otros atributos y fortalecerse cada vez más. Dentro de estos están los stakeholders dominantes que poseen solamente el atributo de poder y presentan la capacidad de imponerse sobre la entidad ejecutora, pero no tienen legitimidad ni reclamaciones urgentes. Otro grupo se refiere a los que tienen solamente la legitimidad y se denominan stakeholders discretos. Un tercer grupo de stakeholders latentes son los stakeholders demandantes que poseen reclamos urgentes, pero no poseen poder ni legitimidad para manifestar sus intereses.

Stakeholders expectantes: son aquellos que poseen dos de los tres atributos. Estos se clasifican en stakeholders dominantes, que poseen poder y legitimidad, pero no poseen urgencia; los stakeholders dependientes, que poseen urgencia y legitimidad, pero no poseen poder; y los stakeholders peligrosos, que poseen poder y urgencia, pero no poseen legitimidad.

Stakeholders definitivos: son los que poseen los tres atributos; poder, legitimidad y urgencia. Como el modelo es dinámico y no estático, los stakeholders pueden cambiar de una clase a otra dependiendo de las circunstancias. Es decir, puede cambiar de una clase de stakeholders latentes a la clase stakeholders expectantes y de esta clase a stakeholders definitivos.

Debido a que el modelo es dinámico y no estático los stakeholders pueden cambiar de una clase a otra dependiendo de las circunstancias. Pueden cambiar de una clase de intervinientes latentes a la clase intervinientes expectantes y de esta clase

a intervinientes definitivos. Los supuestos de los stakeholders de un proyecto de desarrollo en un territorio rural son:

- Los proyectos de desarrollo en un territorio rural necesariamente mantienen relaciones con numerosos stakeholders que afectan la ejecución del proyecto o se ven afectados por las decisiones del mismo.
- Un proyecto de desarrollo en un territorio rural sólo puede existir a partir de la interacción, transacción e intercambio con estos grupos de interés.
- Los intereses de los stakeholders tienen valor intrínseco, y ningún interés es más importante que otro.
- El conflicto entre stakeholders en un proyecto es el último supuesto básico.

En el desarrollo del proyecto se pueden encontrar diversos stakeholders con diferentes tipos de intereses. Por ejemplo puede encontrarse a las organizaciones sociales y a la comunidad local con el interés de obtener un beneficio social o económico; al personal del proyecto con el interés del cumplimiento de las metas del mismo; al personal adjunto al proyecto que vela por la ejecución de los recursos de acuerdo a lo proyectado: El pago de parafiscales, los sindicatos, que velan por los derechos de los trabajadores, propiedad y uso de los recursos, los proveedores, cuyo interés está en la posibilidad de conseguir nuevos contratos y las cuentas de crédito; y a las demás instituciones que intervienen en el territorio y que actúan con los mismos u otros intereses sobre la población local.

Importancia de los stakeholders en el desarrollo rural territorial

El principal objetivo del concepto de stakeholders como teoría es afirmar y mostrar que la gestión de un proyecto es responsabilidad no sólo de los financiadores y ejecutores, sino también de los demás individuos o grupos que tienen algún interés en las acciones y decisiones de dicho proyecto (Freeman, 1994). Este concepto tiene como principal función promover una visión amplia de la administración de

proyectos en un territorio rural teniendo en cuenta el contexto en el que se desempeña. El análisis de los stakeholders permite asignar a los individuos o grupos, roles y responsabilidades que van más allá de la obtención de beneficios económicos. Se busca que los gestores de proyectos presten atención y respondan a las demandas de otros stakeholders diferentes a los financiadores del proyecto (Ronald, 2005).

El principal objetivo del concepto de intervinientes como teoría es afirmar y mostrar que la dirección de un proyecto enmarcado en una política pública es responsabilidad no sólo de los gestores institucionales, sino también de otros individuos y/o grupos que tienen algún interés en las acciones y decisiones de dicha política (Gohary et al., 2006). El análisis cobra gran importancia al momento de fortalecer las relaciones en una cultura organizacional que ponga en práctica la ética y valores para el tratamiento de los stakeholders y ayude a minimizar los comportamientos no éticos de esos intervinientes (Gohary et al., 2006).

Este estudio se propuso en un territorio rural del departamento de Cundinamarca diverso en necesidades, actividades económicas y recursos ambientales y sociales, permitiendo orientar el estudio a identificar la importancia de cada uno de los stakeholders desde el punto de vista de sus capacidades, jurisdicción y objetivos locales y territoriales. En este sentido se realiza un análisis sobre cómo identificar los intereses de cada uno de los actores interesados en el territorio y de lograr el planteamiento de políticas públicas integrales que permitan el desarrollo de los territorios contemplando cada uno de los intereses de los stakeholders, que sean implementadas efectivamente a través de proyectos y alianzas institucionales.

Esta metodología será útil para los ejecutores de proyectos en el sentido de que se busca mantener una visión no de la organización como lo plantea la teoría sino del territorio situado en un conjunto de stakeholders.

Manejo de los stakeholders

Debido a la influencia de los stakeholders en las decisiones del proyecto y/o política y, por tanto, el interés y poder sobre los resultados, deben considerarse las expectativas de cada grupo para favorecer el cumplimiento de sus objetivos propios. Para ello y antes de examinar la respuesta necesaria a cada uno de los stakeholders, se debe comprender que una reducción en la desigualdad de expectativas y comportamientos entre los stakeholders y los ejecutores del proyecto puede suceder debido a cualquiera de las siguientes razones:

- Los comportamientos del ejecutor del proyecto cambian y se acercan a las expectativas de los stakeholders.
- Las expectativas de los stakeholders cambian aceptando las del ejecutor.
- Las expectativas tanto de los stakeholders como las del ejecutor cambian las conductas de los dos (Gohary et al., 2006).

Generalmente un cambio se debe a causa de la intervención de ambas partes, por ejemplo, un cambio en las expectativas de uno de los stakeholders puede deberse a un cambio en las actuaciones del proyecto. Hillman y Keim (2001) afirman que desarrollar relaciones efectivas y saber responder a los stakeholders que denominan primarios –población objetivo, empleados o contratistas, proveedores, comunidad y entorno– constituyen una fuente de recursos intangibles que diferencia la organización en términos de largo plazo. De esta forma se desarrollan relaciones de intercambio para obtener un beneficio mutuo.

Otro concepto para lograr el manejo de los stakeholders es entender el poder que pueden ejercer los actores en el territorio y la ejecución de los proyectos principalmente influidos por sus atributos sociales. Según Nohria (1992) el estudio de los distintos factores que determinan el poder de los actores sobre la organización puede enriquecerse considerando su posición en la red social en la que están inmersos: "La posición puede ser una fuente de poder independiente de otros factores". Otra estrategia utilizada por los stakeholders son los esfuerzos para manipular o modificar la estructura del entorno creando un público y unas creencias

nuevas (modificación). Este factor importante que describe Oliver (1991) en el manejo y análisis de los stakeholders es la capacidad y estrategias que utilizan para ganar legitimidad que se encuentran desde la pasividad, la conformidad hasta la proactividad de la manipulación. La conformidad conlleva el menor número de cambios externos, mientras que la manipulación conlleva mayores cambios.

Esta investigación amplía el alcance de los esfuerzos de investigación anteriores en esta área al considerar simultáneamente los objetivos económicos, ambientales y sociales para diseñar y planificar cadenas de suministro de biorefinería con varias plantas de procesamiento multi producto ubicada en diferentes sitios y abastecer diferentes mercados. El modelo propuesto considera los principales aspectos del procesamiento de la biomasa. Estos aspectos incluyen a un número amplio de tipos de biomasa obtenidos de distintos tipo de cosecha que están distribuidos geográficamente, diversas tecnologías de procesamiento para generar una gama amplia de biocombustibles y bioproductos, la disponibilidad de recursos de acuerdo a la temporada, la distribución materia prima (biomasa de procesamiento) y ubicaciones geográficas potenciales de las plantas de procesamiento, economías de escala para tecnologías de producción, las demandas temporales y precios de productos en cada mercado. El problema fue formulado como un modelo lineal entero-mixto multi objetivo, multi periódico basado en una red de tarea de estado, el cual parece impactar y maximizar el número de trabajos generados al implementar dicho modelo.

Esquema de justicia de Rawls

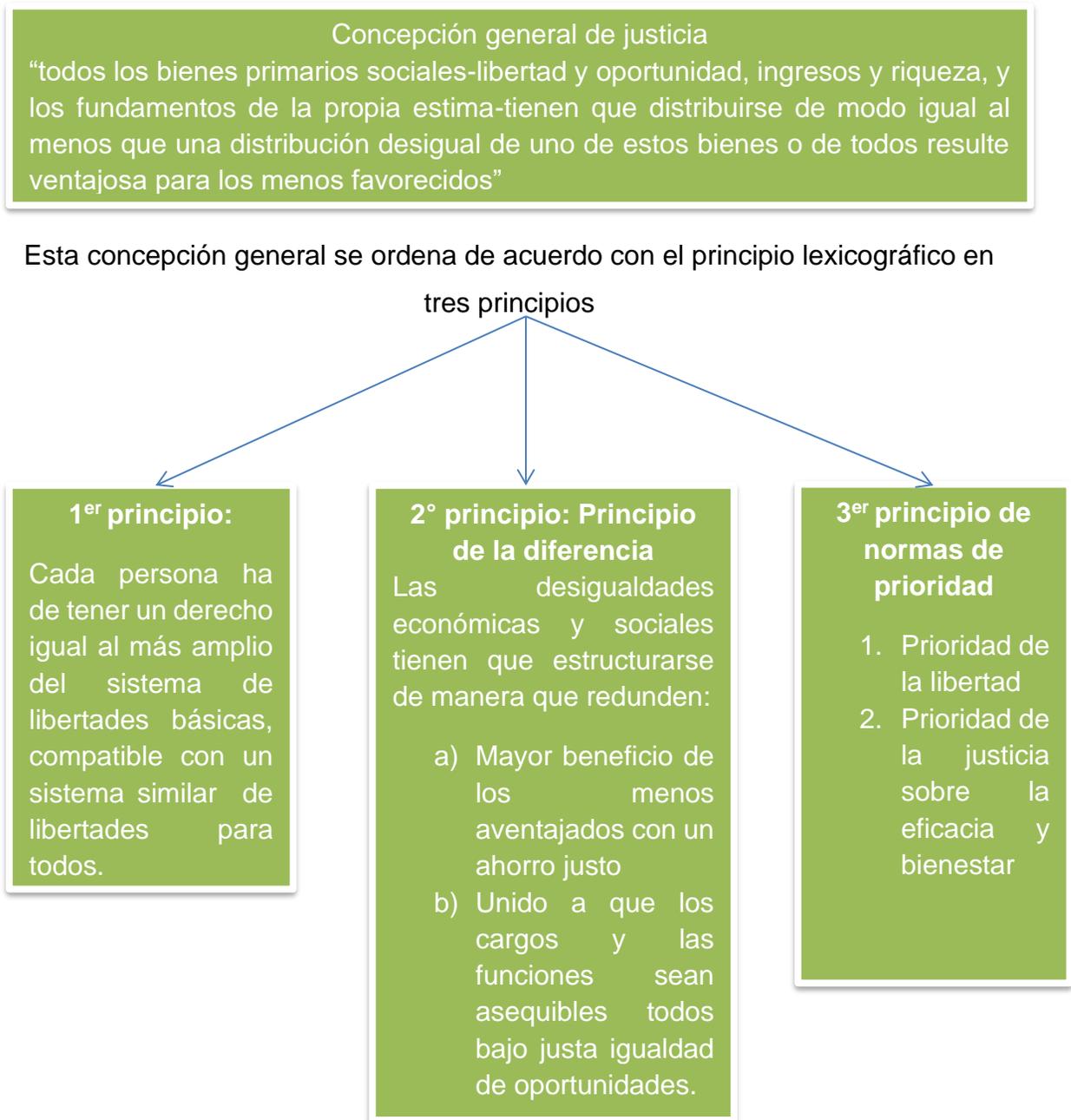


Figura 1.2 Principios de Rawls

La Figura 1.2 nos demuestra la concepción general del esquema de Rawls, así como los principios en lo que se basa para la repartición equitativa de los bienes.

De acuerdo a Rawls, desigualdades económicas y sociales son acomodadas de manera que sea un gran beneficio a los miembros menos favorecidos de la sociedad, consistente con el principio de ahorro justo. Rawls argumenta que la desigualdad es aceptable solo si es una ventaja para aquellos que están en peor situación. Por lo tanto, el esquema de asignación de justicia de Rawls sugiere dar prioridad a las partes interesadas que son las menos ricas o que tiene la menor cantidad de recursos. Esto significa que el esquema debe incluir la mayor asignación posible para el menor partidario. Para tal asignación, la función objetivo consiste en maximizar el peor escenario. Consecuentemente, la utilidad mínima que los partidarios derivan es maximizada. En sistemas donde una asignación eficiente existe y resulta en una utilidad igual para todos, el esquema de Rawls converge en esta asignación. La justicia de Rawls, al igual que la asignación de Nash, corresponde a la percepción común de justicia y equidad. No obstante, la asignación sobre este esquema puede ser no único, contrario al bienestar social. Esto ocurre ya que diferentes partes interesadas pueden tener la peor asignación. Además, tal asignación puede ser un Pareto óptimo porque la función de peor utilidad podría no estar incrementando mono tónicamente, lo que indica un desperdicio de recursos.

Esquema de Nash

"Si hay un conjunto de estrategias con la propiedad de que ningún jugador puede beneficiarse cambiando su estrategia mientras que los otros jugadores no alteren la suya, entonces ese conjunto de estrategias y sus beneficios correspondientes constituyen un equilibrio".

[John Forbes Nash](#). Non-cooperative games (1950). Premio Nobel de Economía (1994). Tesis doctoral de J.F.Nash (original)

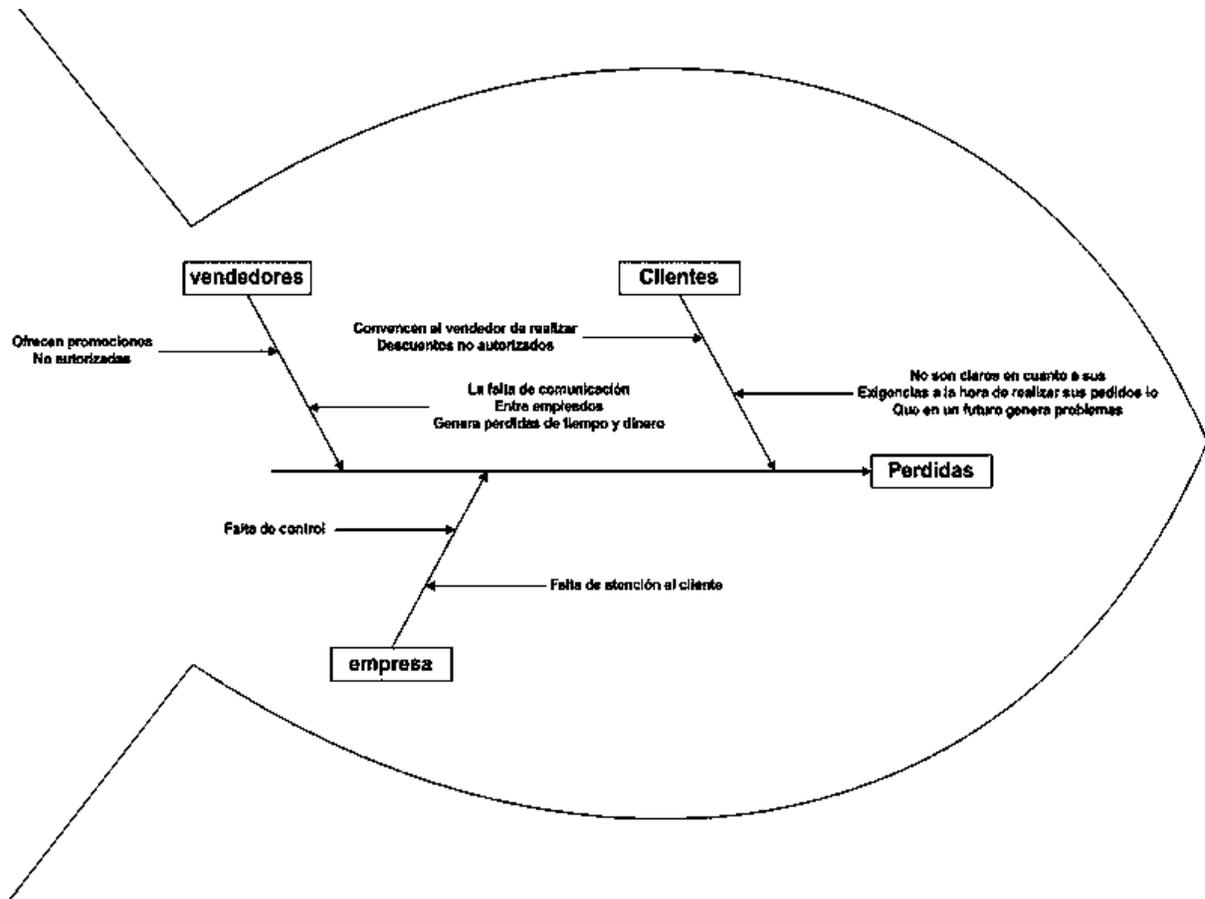


Fig. 1.3 Esquema de Nash

La Figura 1.3 nos muestra como los factores y decisiones de los involucrados de una empresa afecta el funcionamiento de la misma.

Nash propuso una aproximación axiomática para obtener soluciones más justas en el problema de asignación de servicios públicos o utilidades a las partes interesadas. El conjunto de axiomas incluye optimización de Pareto, simetría, invariancia afina e independencia de alternativas irrelevantes. Además, el probó que el único esquema de la asignación de servicios públicos que satisface estos axiomas es la solución de Nash que está basada en la comparación estándar de Nash. Aquí, la utilidad es asignada maximizando la media geométrica de utilidades. Nash interpreto los juegos de azar como una modelación que anticipa los resultados del juego considerando que el juego integra a jugadores racionales. Aunque Nash señalo el caso de negociación de dos personas, sus resultados generalizan a un número n de personas. Específicamente, la función de utilidad de Nash puede estar

dada también maximizando el producto de utilidades. Mencionando que, al usar una transformación logarítmica de esta función, la función objetivo se puede obtener maximizando la suma de los logaritmos de las utilidades. Ya que la función logarítmica es estrictamente cóncava, se logra una solución óptima única. Al contrario de los esquemas de Rawls y bienestar social, no hay asignaciones alternativas que lleven al mismo valor óptimo para la función objetivo.

CAPITULO III

Caso de estudio

El problema abordado en este trabajo se refiere a la planificación a largo plazo de una cadena de suministros de procesamiento de biomasa mientras se optimizan tres objetivos: el beneficio, el impacto ambiental y el impacto social. La SC produce biocombustibles y otros productos químicos a partir de una o más materias primas de biomasa (materias primas) disponibles de varios sitios de cosecha potenciales ampliamente distribuidos. Estos sitios de cosecha tienen una capacidad de cultivo asociada para cada materia prima durante cada período de tiempo. El conjunto de materias primas es comprado y transportado desde el conjunto de sitios de cosecha a cada planta procesadora, que los transforma en diferentes productos que se venden en un conjunto de mercados u otros procesos. Así, cada planta de producción se puede vincular a uno o más sitios de mercado. Además, la biorefinería SC permite el envío de productos intermedios entre plantas. Por lo tanto, la Fig. 1.4 representa la superestructura de la red con posibles enlaces de transporte entre sus componentes. Cabe señalar que el mercado requiere una afluencia de productos apropiados basados en la demanda del cliente.

Se consideran dos tipos de plantas dentro de la superestructura para producir diferentes productos a partir de diferentes materias primas. Estas plantas se clasifican de acuerdo con su tamaño (es decir, capacidad de producción) y ubicación; una es una planta central que puede producir todos los productos y presenta una capacidad de producción muy grande, mientras que la otra es una planta secundaria que tiene un procesamiento limitado o pequeña capacidad para cada producto. Las plantas centrales suelen estar ubicadas en zonas industrializadas, mientras que las plantas de procesamiento secundario se distribuyen cerca de los sitios de cosecha ubicados lejos de las zonas industrializadas. El costo unitario de procesamiento para las plantas secundarias excede el de las plantas centrales, pero pueden reducir los costos generales de transporte.

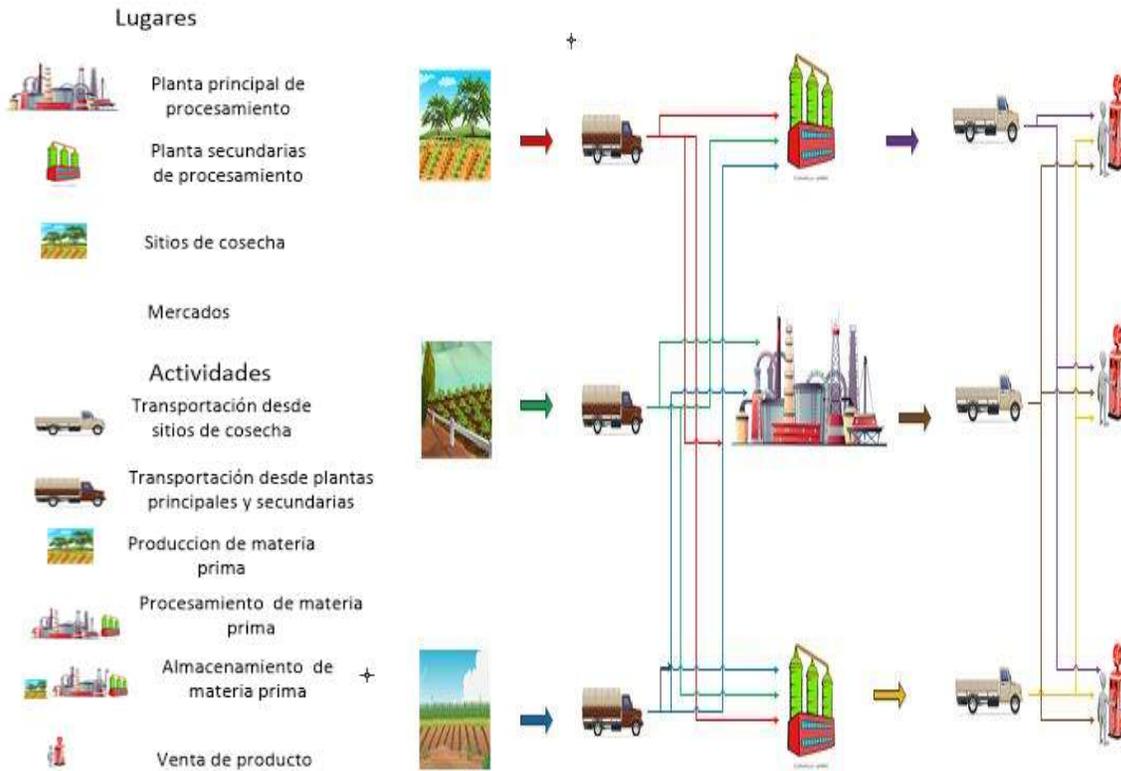


Fig. 1.4 Representación esquemática del problema abordado

Esta reducción contribuye a una disminución significativa de los requisitos de transporte de las materias primas de biomasa, que representa el mayor volumen de material a transportar en el SC. Este estudio presenta solo una planta central y un conjunto de plantas secundarias.

Como se muestra en la Fig.1.5, cada planta de procesamiento puede utilizar diferentes tecnologías de producción para obtener múltiples productos terminados e intermedios de varias materias primas. Por lo tanto, las plantas de procesamiento se modelan en términos de un conjunto de rutas de producción que determinan múltiples materiales de salida y (biocombustibles y otros productos químicos) de varios materiales de entrada potenciales (materias primas de biomasa).

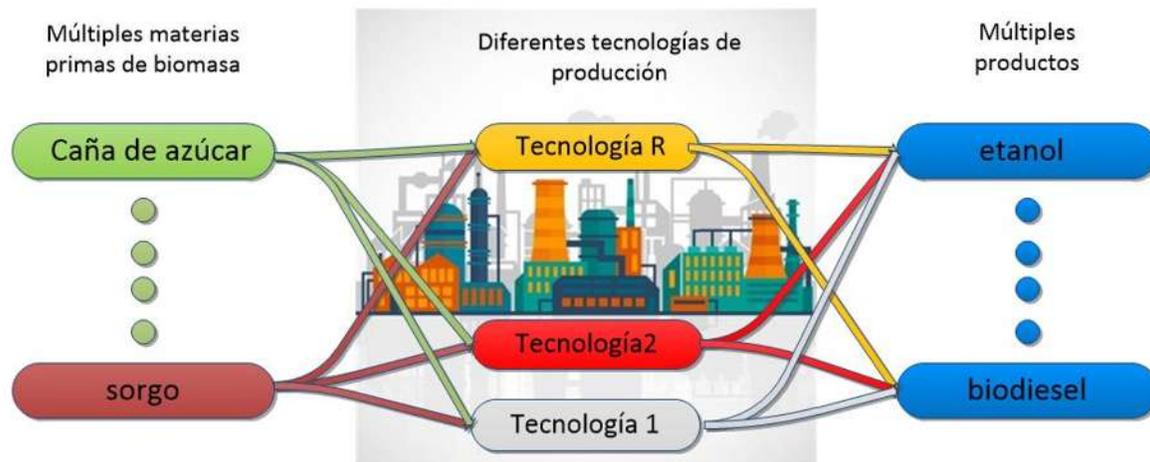


Fig. 1.5 Resumen de la estructura para cada planta de procesamiento

Se supone que la cantidad de cada producto generado por todas las tecnologías de fabricación disponibles se relaciona con el consumo de materia prima de biomasa a través de una ecuación de balance de masa lineal que se expresa en términos de un rendimiento de producción constante (es decir, la masa de materias primas consumido por unidad de masa de producto fabricado para cada tecnología). Los campos de cultivo de biomasa, las plantas de procesamiento secundario y central, y los mercados incluidos en la superestructura SC podrían ser ubicados en múltiples sitios y conectado por enlaces de transporte (Figura 1.4). En este problema, se suponía que los camiones utilizados principalmente para transportar materias primas desde los sitios de cosecha a las plantas de procesamiento y transportar productos intermedios entre plantas, si es necesario. También se asumió que las tuberías transportaban productos desde las plantas a los mercados. El objetivo era determinar la configuración óptima de la SC de biorrefinación distribuida y las decisiones de planificación asociadas que simultáneamente maximizan las ganancias y el impacto social, minimizan el impacto ambiental y satisfacen las demandas de cada mercado sobre el horizonte de planificación especificado. Por otro lado, el segundo objetivo es aplicar los esquemas de justicia Rawls y Nash al modelo matemático para una mejor repartición de bienes para los sectores partidarios en base a los índices ambientales, económicos y sociales que dichos sectores produzcan.

CAPITULO IV

Metodología

Balance de masa

El balance de masa de materia prima, m , en el sitio de cosecha, h , al final del periodo de tiempo t ($M_{m,h,t}^{\text{sitio de cosecha}}$) es igual a la cantidad de materia prima proveniente de m al final del periodo de tiempo previo ($M_{m,h,t-1}^{\text{sitio de cosecha}}$) más m la cantidad producida al final del periodo de tiempo t ($M_{m,h,t}^{\text{producido}}$) menos cantidad total de materia de proceso m transportado desde todos los sitios de cosecha hacia las plantas principales ($M_{m,h,ph,t}^{\text{sitio de cosecha-s.planta}}$) y secundarias ($M_{m,h,t}^{\text{sitio de cosecha-principal}}$). Esta relación es modelada de la siguiente manera:

$$M_{m,h,t}^{\text{sitio de cosecha}} = M_{m,h,t-1}^{\text{sitio de cosecha}} + M_{m,h,t}^{\text{producido}} - \sum_{ph} M_{m,h,ph,t}^{\text{sitio de cosecha-s.planta}} - M_{m,h,t}^{\text{sitio de cosecha-principal}}$$

$$\forall m \in M, h \in H, t \in T$$

(1)

En la ecuación (1), \forall simboliza los índices para los cuales la ecuación es válida; donde el símbolo \in indica el conjunto que contiene los índices considerados.

Balance de masa de centros secundarios

Para cada materia prima m , el inventario final de la planta secundaria ph ($M_{m,ph,t}^{\text{s.planta}}$) al final de un periodo de tiempo t es igual al inventario inicial en el centro secundario al final del periodo previo ($M_{m,ph,t-1}^{\text{s.planta}}$) más la cantidad de flujo de entrada proveniente de cada sitio de cosecha ($M_{m,h,ph,t}^{\text{sitio de cosecha-s.planta}}$) menos la cantidad de materia prima en el centro a lo largo de la ruta de proceso para la producción del producto k ($M_{m,k,r,ph,t}^{\text{proceso}}$) y el flujo de salida hacia la planta principal $M_{m,ph,t}^{\text{s.planta-principal}}$. Por lo tanto, el

balance para cada materia prima m en el punto ph en cualquier tiempo de periodo t puede ser definido como:

$$M_{m,ph,t}^{s.planta} = M_{m,ph,t-1}^{s.planta} + \sum_h Me_{m,h,ph,t}^{sitio\ de\ cosecha-s.planta} - \sum_k \sum_r M_{m,k,r,ph,t}^{proceso} - M_{m,ph,t}^{s.planta-principal}$$

$\forall m \in M, ph \in PH, t \in T$ (2)

Productos en centros secundarios

La relación del balance de masa del producto producido en la planta secundaria ph en el periodo dado es expresado de la siguiente forma:

$$P_{k,ph,t}^{s.planta} = P_{k,ph,t-1}^{s.planta} + \sum_m \sum_r P_{m,k,r,ph,t}^{producido} - P_{k,ph,t}^{s.planta-principal} - \sum_{mk} P_{k,ph,mk,t}^{s.planta-mercado}$$

$\forall p \in P, ph \in PH, t \in T$ (3)

El inventario final del producto k que se produce en la planta secundaria al final del periodo t se representa como $P_{k,ph,t}^{s.planta}$, esto es equivalente al inventario del producto hecho al final del período de tiempo previo k en la planta secundaria ph , más la cantidad de producto producido k usando materia prima m mediante alguna ruta de proceso durante el periodo de tiempo t y menos la cantidad de producto k que ha sido transportado desde la planta secundaria a la planta principal en este periodo de tiempo t , a esto se le resta la suma total de producto k enviado de la planta secundaria al mercado mk en el periodo de tiempo t . Es importante mencionar que los productos no son transportados de una planta secundaria a otra.

Balances de masa en plantas primarias

Al igual que los centros secundarios, el modelo de la planta principal consiste en balances de materia prima y productos. Para el balance de materias primas m , estipula que al final del periodo dado t el inventario final de materia de proceso en la planta principal ($M_{m,t}^{principal}$) es igual al inventario en el término final del periodo

anterior ($M_{m,t-1}^{principal}$) más el flujo total de todos los centros secundarios ($Me_{m,ph,t}^{s.planta-principal}$)

y sitios de cosechas ($Me_{m,h,t}^{sitio\ de\ cosecha\ principal}$) menos la cantidad de materia de proceso m transformada durante la ruta de proceso r en producto k en el periodo de tiempo t ($M_{m,k,r,t}^{proceso\ principal}$). Este balance puede ser modelado como:

$$M_{m,t}^{principal} = M_{m,t-1}^{principal} + \sum_h Me_{m,h,t}^{sitio\ de\ cosecha\ principal} + \sum_{ph} Me_{m,ph,t}^{planta} - \sum_k \sum_r M_{m,k,r,t}^{proceso\ principal} \quad \forall m \in M, t \in T \quad (4)$$

Productos en plantas principales

El balance de masa en la planta principal para cada producto k estipula que el inventario final del producto en el tiempo t es igual al inventario en el término del periodo anterior más la cantidad producida usando materia prima por medio de la ruta de proceso r y el flujo de entrada que viene de las plantas secundarias, menos la cantidad entregada al mercado. Esta relación se modela de la manera siguiente:

$$P_{k,t}^{principal} = P_{k,t-1}^{principal} + \sum_m \sum_r P_{m,k,r,t}^{producido\ principal} + \sum_{ph} P_{k,ph,t}^{s.planta} - \sum_{mk} P_{k,ph,t}^{mercado\ principal} \quad \forall k \in K, t \in T \quad (5)$$

Cabe mencionar que el modelo propuesto considera que el proceso de biomasa distribuido a plantas secundarias se lleva acabo a menor escala cerca de los sitios de cosecha, mientras que en la planta principal es mucho más grande y en una zona industrializada. Esto sucede ya que las materias de proceso se obtienen de distinto sitios de cosecha los cuales son muy amplios y distribuidos. Consecuentemente, resulta en costos muy grande por transportación de materia prima. Por lo tanto, la distribución de facilidades en este modelo tiene ventajas en escalas económicas ya que reduce los costos de trasportación y la cantidad de materiales que son enviadas entre las plantas suministros.

Balances de masa para el mercado

Cada mercado mk requiere un balance que solo incluya productos k , el inventario final al final de periodo t es igual al inventario al término del periodo del tiempo anterior más el producto enviado al mercado de las plantas secundarias y plantas primarias, menos el producto vendido.

$$P_{k,mk,t}^{mercado} = P_{k,mk,t-1}^{mercado} + \sum_{ph} P_{k,ph,mk,t}^{s.planta-mercado} + P_{k,mk,t}^{principal-market} - P_{k,mk,t}^{vendido}$$

$$\forall k \in K, t \in T, mk \in MK \quad (6)$$

Restricciones de almacenamiento

Para la modelación de almacenamiento se usan dos disyunciones. La primera dice que si la variable de Booleana $Y_{s,l,t}^l$ es verdad si el material almacenado en una localización dada s durante un intervalo de tiempo t es mayor que 0 la cual está limitada por un límite superior $Sm_{s,l}^{superior\ l}$ y un inferior $Sm_{s,l}^{inferior\ l}$. Estos límites se determinaron en base a limitaciones técnicas y geográficas. Si estas condiciones no se satisfacen la variable Booleana $Y_{s,l,t}^l$ es falsa y la cantidad almacenada es cero. Aunque el límite inferior puede ser cero, los límites inferiores usualmente son mayores que cero ya que se toma en cuenta los efectos económicos a escala sobre la capacidad de almacenamiento de los suministros de biorefinerías.

$$\left[Sm_{s,l}^{inferior\ l} \leq S_{s,l,t}^l \leq Sm_{s,l}^{superior\ l} \right] \vee \left[\begin{array}{l} \neg Y_{s,l,t}^l \\ S_{s,l,t}^l = 0 \end{array} \right], \quad \forall s \in S, l \in L, t \in T \quad (7)$$

Para el modelaje de la disyunción anterior como un conjunto de relaciones lineares se crearon las siguientes restricciones:

$$Y_{s,l,t}^l Sm_{s,l}^{inferior\ l} \leq S_{s,l,t}^l \leq Y_{s,l,t}^l Sm_{s,l}^{superior\ l}, \quad \forall s \in S, l \in L, t \in T \quad (8)$$

Relaciones previas permiten que la variable binaria $Y_{s,l,t}^l$ sea activada cuando el almacenamiento es requerido en un intervalo de tiempo t para un material l en una localización dada. El costo para material almacenado l en dicha localización s

depende en 2 contribuciones. La primera está asociada con la capacidad de almacenamiento. La segunda la define el valor máximo de las capacidades de almacenamiento requeridas durante todo el tiempo contemplado. Por lo tanto, variables binarias adicionales se necesitan para determinar el almacenamiento durante cualquier periodo de tiempo y en cualquier lugar. Estas relaciones lógicas que se mencionan a continuación nos permite su modelación: si las instalaciones de almacenamiento están instaladas ($Y_{S,l}^{necesario} \approx 1$), entonces deberán ser usadas al menos una vez durante todo el tiempo contemplado ($\sum_t Y_{S,l,t}^l \geq 1$):

$$\sum_t Y_{S,l,t}^l \geq Y_{S,l}^{necesario}, \quad \forall s \in S, l \in L \quad (9)$$

Además, si al menos un periodo requiere almacenamiento ($\sum_t Y_{S,l,t}^l \geq 1$), entonces la instalación deberá hacerse ($Y_{S,l}^{necesario} = 1$):
(número máximo de periodos)

$$Y_{S,l}^{necesario} - \sum_t Y_{S,l,t}^l \geq 0, \quad \forall s \in S, l \in L \quad (10)$$

En la ecuación anterior el número máximo de periodos denota los periodos máximos considerados por la SC, por ejemplo, considerando un número máximo de periodo de 12 meses; si $\sum_t Y_{S,l,t}^l = 1$, la ecuación (10) se expresaría $12Y_{S,l}^{necesario} - 1 \geq 0, \forall s \in S, l \in L$ y $Y_{S,l}^{necesario}$ deberá ser uno para satisfacer la restricción. La situación cambia cuando $\sum_t Y_{S,l,t}^l = 12$; en este caso, la ecuación 10 sería $12Y_{S,l}^{necesario} - 12 \geq 0, \forall s \in S, l \in L$ y $Y_{S,l}^{necesario}$ deberá ser uno. Por lo tanto, ecuación (10) se usa para activar la variable binaria $Y_{S,l}^{necesario}$ cuando $Y_{S,l,t}^l$ es uno durante un periodo. Debe

mencionarse que solo se implementa ecuación (9) cuando $(\sum_t Y_{s,l,t}^l \geq 1)$, entonces ecuación (9) no restringe el valor de $Y_{s,l}^{necesario,l}$. Consecuentemente, $Y_{s,l}^{necesario,l}$ puede ser igual a uno o cero. Esto hace que se usa la ecuación (10), aunque, si se usa la ecuación (10) cuando $Y_{s,l}^{necesario,l} = 1$ todos los valores de $Y_{s,l}^{necesario,l}$ pueden ser uno o cero. Como tal, ecuación (9) requiere asegurar un valor de $Y_{s,l,t}^l$ igual a 1. Por lo tanto, este modelo necesita ambas relaciones.

La capacidad de almacenamiento depende del valor máximo de la capacidad que se requieren para cada periodo en todo el tiempo contemplado:

$$Sm_{s,l}^l \geq S_{s,l,t}^l, \quad \forall s \in S, l \in L, t \in T \quad (11)$$

El costo total de almacenamiento para SC es la suma del capital y los costos de operación en las instalaciones de almacenamiento. En este artículo, el costo para cada instalación de almacenamiento es representado por una función de carga fija, la cual esta expresada como la suma de un costo fijo y uno variable (toma en cuenta la escala de economía). Este costo fijo representa todos los gastos independientes del tamaño de la instalación de almacenamiento, incluyendo la tubería requerida, instrumentación e instalaciones eléctricas. Una variable binaria $Y_{s,l}^{necesario,l}$ está asociada con cada instalación de almacenamiento en la superestructura que representa la existencia de la instalación s . Si una instalación de almacenamiento no es seleccionando o usada, los costos asociados no deberían aparecer en la función de objetivo económico. Para asegurar esta que esta condición se cumpla, el termino fijo en la función de costo de inversión, $Csmf_{s,l}^l$, debe ser multiplicado por la variable binaria de la instalación de almacenamiento correspondiente $Y_{s,l}^{necesario,l}$. Esta aproximación elimina alternativas con un número significativo de instalaciones de almacenamiento que son más caras que las soluciones que requieren menores instalaciones de almacenamiento para la misma capacidad de almacenamiento. También, los costos capitales para las instalaciones de almacenamiento incluyen

una porción variable que depende en el tamaño requerido de la instalación; así que, la capacidad máxima requerida para todos los periodos de tiempo requeridos ($Sm_{s,l}^l$) es multiplicada por el costo capital unitario ($Csmv_{s,l}^l$) que determina los costos de capital variable para las instalaciones de almacenamiento. El segundo costo asociado con la actividad de almacenamiento corresponde a los costos operacionales ($\sum_t Csm_s S_{s,l,t}^l$), el cual incluye gastos para mantener los materiales almacenados en buen estado. Costos operacionales incrementan o disminuyen en relación a la cantidad de materiales almacenados y el tiempo que son almacenados. Por lo tanto, los costos operacionales de las instalaciones de almacenamiento son calculados sumando el producto de la cantidad de materiales almacenados en cada periodo $S_{s,l,t}^l$, y el costo operacional unitario para el de almacenamiento (Csm) durante todos los periodos en el cual el almacenaje sea necesitado.

El costo total para las instalaciones de almacenamiento de la SC estudiada se modela con la siguiente disyunción:

$$\left[\begin{array}{c} Y_{S_{s,l}}^{necesario} \\ C_{m_{s,l}}^{alcenaje} = Csmf_{s,l}^l + Csmv_{s,l}^l Sm_{s,l}^l + \sum_t Csm_s S_{s,l,t}^l \end{array} \right] V \left[\begin{array}{c} \neg Y_{S_{s,l}}^{necesario} \\ C_{m_{s,l}}^{alcenaje} = 0 \\ Sm_{s,l}^l = 0 \\ S_{s,l,t}^l = 0, \forall t \in T \end{array} \right]$$

$$\forall s \in S, l \in L$$

La disyunción anterior es reformulada para expresar sus restricciones en términos de variables desagregadas

$$C_{m_{s,l}}^{alcenaje} = Csmf_{s,l}^l Y_{S_{s,l}}^{necesario} + Csmv_{s,l}^l Sm_{s,l}^l + \sum_t Csm_s S_{s,l,t}^l, \quad \forall s \in S, l \in L \quad (12)$$

$$C_{m_{s,l}}^{alcenaje} \leq C_{m_{s,l}}^{alcenajeMAX} Y_{S_{s,l}}^{necesario}, \quad \forall s \in S, l \in L \quad (13)$$

$$Sm_{s,l}^l \leq Sm_{s,l}^{lMAX} Y_{S_{s,l}}^{l,necesario}, \quad \forall s \in S, l \in L \quad (14)$$

$$S_{s,l,t}^l \leq S_{s,l,t}^{lMAX} Y_{S_{s,l}}^{l,necesario}, \quad \forall s \in S, l \in L \quad (15)$$

En las ecuaciones de arriba, el costo depende en la capacidad máxima de almacenamiento que se representa con el término $Csmv_{s,l}^l Sm_{s,l}^l$. Ya que la función de costo de inversión actual es una función de costo no lineal, el almacenaje es una actividad en la SC que permite la explotación de economía a escala y la reducción de costos. En esta investigación, una función lineal de costo de carga fija adecuadamente aproxima la función de costo no lineal del material almacenado durante un intervalo valido. Para cada instalación de almacenamiento, esta función lineal de costo de carga fija tiene un costo fijo, $Csmf_{s,l}^l Y_{S_{s,l}}^{l,necesario}$, asociado con la instalación y el término variable $Csmv_{s,l}^l Sm_{s,l}^l$, que depende en la cantidad máxima de material almacenado. $Csmv_{s,l}^l$ es el intercepto de la línea que relaciona el costo de la instalación de almacenamiento con la cantidad de material almacenado. Las ecuaciones anteriores son usadas para definir la variable binaria de almacenamiento s en cualquier locación l en cualquier periodo de tiempo t ya sea como 1 si es establecida o 0 si no lo es. Cuando la variable binaria es igual a 1, el límite superior para el costo de almacenamiento y la capacidad de almacenamiento son incluidas.

Restricciones de transportación

El modelo considera seis enlaces de transportación entre los componentes de la SC de la bio refinería. Para materia prima, estos enlaces son la transportación de los sitios de cosecha a plantas secundarias $\left(M_{m,h,ph,t}^{sitios\ de\ cosecha-s.planta} \right)$, al procesamiento

principal $\left(M_{m,h,t}^{\text{sitios de cosecha- principal}} \right)$, entre plantas secundarias de procesamiento y la

planta principal de procesamiento $\left(M_{m,ph,t}^{\text{s.planta- principal}} \right)$. Para los productos, estos enlaces

consisten en la transportación desde las plantas secundarias de procesamiento a la

planta principal de procesamiento $\left(P_{k,ph,t}^{\text{s.planta- principal}} \right)$, de plantas secundarias de

procesamiento al mercado $P_{k,ph,mk,t}^{\text{s.planta- mercado}}$, y de la planta principal de procesamiento al

mercado $\left(P_{k,mk,t}^{\text{principal- mercado}} \right)$. Las cantidades transportadas de materiales son limitadas por

límites inferiores y superiores, los cuales se formulan por las siguientes variables binarias:

$$y_{m,h,ph,t}^{\text{sitios de cosecha- s.planta}}, y_{m,h,t}^{\text{sitios de cosecha- principal}}, y_{m,ph,t}^{\text{s.planta- principal}}, y_{p,k,ph,t}^{\text{s.planta- principal}}, y_{p,k,ph,mk,t}^{\text{s.planta- mercado}} \text{ y } y_{p,k,mk,t}^{\text{principal- mercado}}.$$

Estas variables son igual a 1 si los enlaces transportación entre los componentes correspondientes son establecidos y 0 si no lo están. Las cantidades de materiales transportados entre los componentes de una SC de bio refinería son restringidas por los siguientes límites superiores:

$$M_{m,h,ph,t}^{\text{sitios de cosecha- s.planta}} \leq y_{m,h,ph,t}^{\text{sitios de cosecha- s.planta}} M_{sup}^{\text{sitios de cosecha s.planta}}_{m,h,ph} \quad \forall m \in M, h \in H, ph \in PH, t \in T \quad (16)$$

$$M_{m,h,t}^{\text{sitios de cosecha- principal}} \leq y_{m,h,t}^{\text{sitios de cosecha- principal}} M_{sup}^{\text{sitios de cosecha principal}}_{m,h} \quad \forall m \in M, h \in H, t \in T \quad (17)$$

$$M_{m,ph,t}^{\text{s.planta- principal}} \leq y_{m,ph,t}^{\text{s.planta- principal}} M_{sup}^{\text{s.planta principal}}_{m,ph} \quad \forall m \in M, ph \in PH, t \in T \quad (18)$$

$$P_{k,ph,t}^{\text{s.planta- principal}} \leq y_{p,k,ph,t}^{\text{s.planta- principal}} P_{sup}^{\text{s.planta- principal}}_{k,ph} \quad \forall k \in K, ph \in PH, t \in T \quad (19)$$

$$P_{k,ph,mk,t}^{s.planta-mercado} \leq y p_{k,ph,mk,t}^{s.planta-mercado} P_{k,ph,mk}^{sup s.planta-mercado} \quad \forall k \in K, ph \in PH, mk \in MK, t \in T \quad (20)$$

$$P_{k,mk,t}^{principal-mercado} \leq y p_{k,mk,t}^{principal-mercado} P_{k,mk}^{sup principal-mercado} \quad \forall k \in K, ph \in PH, mk \in MK, t \in T \quad (21)$$

Las cantidades de materiales enviadas entre los componentes de SC son también limitados por límites inferiores:

$$M_{m,h,ph,t}^{sitios\ de\ cosecha-s.planta} \geq y m_{m,h,ph,t}^{sitios\ de\ cosecha-s.planta} Minf_{m,h,ph}^{sitios\ de\ cosecha-s.planta} \quad \forall m \in M, h \in H, ph \in PH, t \in T \quad (22)$$

$$M_{m,h,t}^{sitios\ de\ cosecha-principal} \geq y m_{m,h,t}^{sitios\ de\ cosecha-principal} Minf_{m,h}^{sitios\ de\ cosecha-principal} \quad \forall m \in M, h \in H, t \in T \quad (23)$$

$$M_{m,ph,t}^{s.planta-principal} \geq y m_{m,ph,t}^{s.planta-principal} Minf_{m,ph}^{s.planta-principal} \quad \forall m \in M, ph \in PH, t \in T \quad (24)$$

$$P_{k,ph,t}^{s.planta-principal} \geq, y p_{k,ph,t}^{s.planta-principal} P_{k,ph}^{inf s.planta-principal} \quad \forall k \in K, ph \in PH, t \in T \quad (25)$$

$$P_{k,ph,mk,t}^{s.planta-mercado} \geq y p_{k,ph,mk,t}^{s.planta-mercado} P_{k,ph,mk}^{inf s.planta-mercado} \quad \forall k \in K, ph \in PH, mk \in MK, t \in T \quad (26)$$

$$P_{k,mk,t}^{principal-mercado} \geq y p_{k,mk,t}^{principal-mercado} P_{k,mk}^{inf principal-mercado} \quad \forall k \in K, ph \in PH, mk \in MK, t \in T \quad (27)$$

Para cada tipo de enlace de transformación establecido entre dos componentes SC, el tiempo correspondiente de transportación es calculado por las ecuaciones (28) y (33). La actividad de transportación se asume que es incapaz de cambiar las propiedades de los materiales enviados. Aunque, la cantidad de material que sale del componente de origen es igual a la cantidad recibida por el componente de destino entre los dos componentes de SC interconectados. De cualquier manera, el flujo del material de transporte entre estos componentes sale del componente de

origen en el tiempo t
 $(M_{m,h,ph,t}^{sitios\ de\ cosecha-s.planta}, M_{m,h,t}^{sitios\ de\ cosecha-principal}, M_{m,ph,t}^{s.planta-principal}, P_{k,ph,t}^{s.planta-principal}, P_{k,ph,mk,t}^{s.planta-mercado}, P_{k,mk,t}^{principal-mercado})$ y

más tarde llega a su componente de destino
 $(Me_{m,h,ph,t}^{sitios\ de\ cosecha-s.planta}, Me_{m,h,t}^{sitios\ de\ cosecha-principal}, Me_{m,ph,t}^{s.planta-principal}, P_{k,ph,t}^{s.planta-principal}, P_{k,ph,mk,t}^{s.planta-mercado}, P_{k,mk,t}^{principal-mercado})$.

Por lo tanto, el tiempo de transportación (t_{trans}) es dado por la diferencia entre en tiempo de salida y llegada asociado con el enlace de transportación establecido en la SC

$$M_{m,h,ph,t}^{sitios\ de\ cosecha-s.planta} = Me_{m,h,ph,t+t_{trans}}^{sitios\ de\ cosecha-s.planta} \quad \forall m \in M, h \in H, ph \in PH, t \in T \quad (28)$$

$$M_{m,h,t}^{sitios\ de\ cosecha-principal} = Me_{m,h,t+t_{trans}}^{sitios\ de\ cosecha-principal} \quad \forall m \in M, h \in H, t \in T \quad (29)$$

$$M_{m,ph,t}^{s.planta-principal} = Me_{m,ph,t+t_{trans}}^{s.planta-principal} \quad m \in M, ph \in PH, t \in T \quad (30)$$

$$P_{k,ph,t}^{s.planta-principal} = P_{k,ph,t+t_{trans}}^{s.planta-principal} \quad \forall k \in K, ph \in PH, t \in T$$

$$(31) P_{k,ph,mk,t}^{s.planta-mercado} = Pe_{k,ph,mk,t+t_{trans}}^{s.planta-mercado} \quad \forall k \in K, ph \in PH, mk \in MK, t \in T \quad (32)$$

$$P_{k,mk,t}^{principal-mercado} = Pe_{k,mk,t+t_{trans}}^{principal-mercado} \quad \forall k \in K, ph \in PH, mk \in MK, t \in T \quad (33)$$

Restricciones de procesamiento

El modelo propuesto considera la distribución de la biomasa de proceso, esto incluye un conjunto de plantas secundarias distribuidas y solo una planta central, pero todas las tecnologías de producción disponibles pueden ser usadas en ambos tipos de plantas. La biomasa de proceso distribuida potencialmente disminuye los costos de transportación de la materia de proceso ya que la biomasa se procesa en plantas secundarias que están localizadas cerca de los sitios de cosecha. Para considerar la escala de economías, la conversión de costo de tecnologías sigue funciones de la ley de potencia que dicta que los costos unitarios de producción

disminuyen aumentando la capacidad de la planta. Por lo tanto, funciones de costos no lineales son linealizadas en diferentes intervalos entre los límites de procesos dados para obtener un problema lineal.

Las restricciones (34) y (35) son usadas para garantizar que la cantidad global del producto k producido de la materia prima m usando ruta de procesamiento (tecnología) r en una planta secundaria ph en un tiempo t es menor que el límite superior y mayor que el límite superior de la capacidad de la ruta de procesamiento:

$$M_{m,k,r,ph,t}^{procesamiento} \leq y_{m,k,r,ph,t} M_{m,k,r,ph,t}^{sup\,procesamiento} \quad \forall m \in M, k \in K, r \in R, ph \in PH, t \in T \quad (34)$$

$$M_{m,k,r,ph,t}^{procesamiento} \geq y_{m,k,r,ph,t} M_{m,k,r,ph,t}^{inf\,procesamiento} \quad \forall m \in M, k \in K, r \in R, ph \in PH, t \in T \quad (35)$$

Estas ecuaciones incluyen una variable binaria para modelar la selección de tecnología de producción. Esta variable toma valor de 1 si la tecnología de producción r es seleccionada para producir producto k usando materia de proceso m en una planta secundaria ph en un periodo de tiempo t . Si la ruta de proceso no es seleccionada, la variable binaria es cero.

Un número grande de posibles tecnologías de producción puede estar comprometida por varios pasos de procesamiento para convertir la diversa materia de biomasa en múltiples biocombustibles y bioproductos. Esta situación resulta en un complejo problema de optimización para diseñar y planear la SCs de multi productos de bio refinería. Por lo tanto, el modelo propuesto asume que la conversión de materia m en producto k puede ser descrita usando factor de conversión fijo para cada tecnología de producción r para forzar la linealidad del problema.

$$P_{m,k,r,ph,t+tprocesamiento}^{producido} = \alpha_{m,k,r} M_{m,k,r,ph,t}^{procesamiento} \quad \forall m \in M, k \in K, r \in R, ph \in PH, t \in T \quad (36)$$

Donde $\alpha_{m,k,r}$ es el factor de conversión del producto k convertido en la cantidad unitaria de materia de biomasa m con la tecnología de producción r .

Similarmente a las plantas secundarias, la velocidad producción del producto k usando la tecnología r en la planta principal usando materia m en un tiempo t es limitada por los límites inferiores y superiores de la capacidad de la tecnología (ruta de procesamiento):

$$M_{m,k,r,t}^{\text{procesamiento principal}} \leq y m_{m,k,r,t}^{\text{procesamiento principal}} M_{m,k,r}^{\text{procesamiento principal sup}} \quad \forall m \in M, k \in K, r \in R, t \in T \quad (37)$$

$$M_{m,k,r,t}^{\text{procesamiento principal}} \geq y m_{m,k,r,t}^{\text{procesamiento principal}} M_{m,k,r}^{\text{procesamiento principal inf}} \quad \forall m \in M, k \in K, r \in R, t \in T \quad (38)$$

Donde $y m_{m,k,r,t}^{\text{procesamiento principal}}$ es una variable binaria igual a 1 si la tecnología de producción r es seleccionada para producir producto k usando materia m en la planta principal de procesamiento durante cada periodo t .

Finalmente, el conjunto de funciones dadas por la ecuación (39) modelan el desempeño de cada tecnología de producción disponible en la planta principal para producir k usando materia m durante cada periodo de tiempo t :

$$P_{m,k,r,t}^{\text{producido-principal}} = \alpha_{m,k,r} M_{m,k,r,t}^{\text{procesamiento principal}} \quad \forall m \in M, k \in K, r \in R, t \in T \quad (39)$$

Restricciones de disponibilidad

La materia para plantas procesadoras se puede obtener de distintos recursos de biomasa. Adicionalmente, mientras incrementa la capacidad generalmente disminuye los costos unitarios de producción, el tamaño de las biorefinerías es restringidas por la materia disponible. De hecho, la capacidad de producción para cada alimentación de biomasa m de un sitio de cosecha en un periodo t es restringido por un límite superior ($M_{m,h,t}^{\text{producido sup}}$), el cual es obtenido de información estadística acerca de la disponibilidad de la materia biomasa para cada sitio de cosecha en cuestión. Esta restricción se define como:

$$y p m_{m,h,t}^{\text{producido}} \geq M_{m,h,t}^{\text{producido sup}}, \quad \forall m \in M, h \in H, t \in T \quad (40)$$

Esta ecuación usa la variable binaria, la cual toma el valor de 1 si el bio recurso es seleccionado como materia prima m en el periodo de tiempo t y está disponible en el sitio de cosecha h . Si no es seleccionado, su valor es 0.

Debe mencionarse que los recursos de biomasa en sitios de cosecha considerados ya tienen diferentes usos, así que el modelo propuesto incluye que la producción adicional de recursos de biomasa cumple con las demandas de materia prima de las plantas de biorefinería.

Restricciones de Inicio y término del almacenamiento.

Una restricción adicional asegura que el problema puede ser resuelto para cualquier término de tiempo y puede ser juntado con otros periodos de tiempo, esto significa que si el horizonte de tiempo es de 12 meses, también puede ser resuelto para 24, 36, etc.

Esta restricción estipula que el inventario total de la materia prima y productos al final del horizonte en las instalaciones de almacenamiento debe ser igual al inventario total de almacenamiento al principio del horizonte de tiempo ($S_{s,l,0}$):

$$S_{s,l,CARD(t)} = S_{s,l,0}, \quad \forall s \in S, l \in L \quad (41)$$

Funciones objetivo

El modelo matemático presentado arriba ayuda a optimizar simultáneamente el desempeño económico, ambiental social de la SC de la bio refinería.

Función del objetivo económico

El objetivo económico es maximizar la ganancia neta de la SC de la refinería, la cual representa la diferencia entre el ingreso y costo total. El costo total incluye el procesamiento, transportación y costos de almacenamiento de la materia de proceso y producto:

$$\begin{aligned}
ganancia = & \sum_k \sum_{mk} \sum_t Ck_{k,mk,t}^{vendido} p_{k,mk,t}^{vendido} - \sum_m \sum_h \sum_t Cm_{m,h,t}^{producido} M_{m,h,t}^{producido} \\
& - \sum_m \sum_h Cm_{m,h}^{\text{almacenamiento}}^{\text{sitios de cosecha}} \\
& - \sum_m \sum_{ph} Cm_{m,ph}^{\text{almacenamiento}}^{\text{s.planta}} - \sum_m Cm_m^{\text{almacenamiento}}^{\text{principal}} \\
& - \sum_k \sum_{ph} Ck_{k,ph}^{\text{almacenamiento}} \\
& - \sum_k Ck_k^{\text{almacenamiento}}^{\text{principal}} \\
& - \sum_k \sum_{mk} Ck_{k,mk}^{\text{almacenamiento}}^{\text{mercado}} \\
& - \sum_m \sum_h \sum_{ph} \sum_t Ctm_{m,h,ph,t}^{\text{sitios de cosecha}}^{\text{s.planta}} M_{m,h,ph,t}^{\text{sitios de cosecha}}^{\text{s.planta}} \\
& - \sum_m \sum_h \sum_t Ctm_{m,h,t}^{\text{sitios de cosecha}}^{\text{principal}} M_{m,h,t}^{\text{sitios de cosecha}}^{\text{principal}} \\
& - \sum_k \sum_{ph} \sum_{mk} \sum_t Ctk_{k,ph,mk,t}^{\text{s.planta}} p_{k,ph,mk,t}^{\text{s.planta}} - \sum_k \sum_{ph} \sum_t Ctk_{k,ph,t}^{\text{s.planta}} p_{k,ph,t}^{\text{s.planta}} \\
& - \sum_k \sum_{mk} \sum_t Ctk_{k,mk,t}^{\text{principal}} p_{k,mk,t}^{\text{principal}} \\
& - \sum_m \sum_k \sum_r \sum_{ph} \sum_t Cm_{m,k,r,ph,t}^{\text{procesamiento}} M_{m,k,r,ph,t}^{\text{procesamiento}} \\
& - \sum_m \sum_k \sum_r \sum_t Cm_{m,k,r,t}^{\text{procesamiento}}^{\text{principal}} M_{m,k,r,t}^{\text{procesamiento}}^{\text{principal}}
\end{aligned}
\tag{42}$$

Donde $Ck_{k,mk,t}^{vendido}$ es el precio unitario de los productos $Cm_{m,h,t}^{producido}$ es el costo unitario de materia prima, $Cm_{m,h}^{\text{almacenamiento}}^{\text{sitios de cosecha}}$, $Cm_{m,ph}^{\text{almacenamiento}}^{\text{s.planta}}$, y $Cm_m^{\text{almacenamiento}}^{\text{principal}}$ son costos de almacenamiento de la materia prima en los sitios de cosecha, procesamiento de plantas secundarias y plantas principales, respectivamente.

Estos costos tienen un componente fijo (independiente de materia prima) y uno variable (dependiente de materia prima). Además $Ck_{s,planta}^{almacenamiento}$,

$Ck_k^{almacenamiento}$ y $Ck_{mercado}^{almacenamiento}$ son los costos por almacenamiento de productos en procesamiento de plantas secundarias, plantas principales y mercados, respectivamente. Estos componentes también tienen un componente fijo y no variable.

$Ctm_{m,h,ph,t}^{sitios\ de\ cosecha\ s.planta}$, $Ctm_{m,h,t}^{sitios\ de\ cosecha\ principal}$, $Ctk_{k,ph,mk,t}^{s.planta\ mercado}$, $Ctk_{k,ph,t}^{s.planta\ principal}$ y $Ctk_{k,mk,t}^{principal\ mercado}$. Son

costos unitarios de transportación de materia prima e los enlaces de transportación establecidos. Finalmente, $C_{m,k,r,ph,t}^{procesamiento}$ y $C_{m,k,r,t}^{procesamiento\ principal}$ son costos unitarios de procesamiento para centros secundarios e instalaciones principales de procesamiento.

Dividiendo el proceso completo en sectores, se puede obtener la ganancia individual en cada sector, permitiendo saber los ingresos para modelar una repartición justa de las ganancias

Para modelar solamente la ganancia de la biorefinería la ecuación sería la siguiente:

$$\begin{aligned}
 gananciaref = & \sum_k \sum_{mk} \sum_t Ck_{k,mk,t}^{principal\ mercado} p_{k,mk,t}^{principal\ mercado} \\
 & - \sum_m \sum_k \sum_r \sum_t C_{m,k,r,t}^{procesamiento\ principal} M_{m,k,r,t}^{procesamiento\ principal} \\
 & - \sum_m C m_m^{almacenamiento\ principal} - \sum_k C k_k^{almacenamiento\ principal} \\
 & - \sum_k \sum_{mk} \sum_t Ctk_{k,mk,t}^{principal\ mercado} p_{k,mk,t}^{principal\ mercado}
 \end{aligned}
 \tag{43}$$

Donde $Ck_{k,mk,t}^{principal}$ es el precio unitario de los productos, $C_{m,k,r,t}^{procesamiento}$ costos unitarios de procesamiento para instalaciones principales de procesamiento,

$Cm_m^{almacenamiento}$ los costos de almacenamiento de la materia prima en plantas principales, $Ck_k^{almacenamiento}$ los costos por almacenamiento de productos en plantas principales y $Ctk_{k,mk,t}^{principal}$ son costos unitarios de transportación de materia prima de la planta principal al mercado.

Ganancia para centros secundarios tendría un modelaje similar:

gananciasec

$$\begin{aligned}
 &= \sum_k \sum_{ph} \sum_{mk} \sum_t Ck_{k,ph,mk,t}^{s.planta} p_{k,ph,mk,t}^{s.planta} - \sum_m \sum_{ph} Cm_{m,ph}^{almacenamiento} \\
 &- \sum_k \sum_{ph} Ck_{k,ph}^{almacenamiento} \\
 &- \sum_k \sum_{ph} \sum_{mk} \sum_t Ctk_{k,ph,mk,t}^{s.planta} p_{k,ph,mk,t}^{s.planta} \\
 &- \sum_k \sum_{ph} \sum_t Ctk_{k,ph,t}^{s.planta} p_{k,ph,t}^{s.planta} \\
 &- \sum_m \sum_k \sum_r \sum_{ph} \sum_t Cm_{m,k,r,ph,t}^{procesamiento} M_{m,k,r,ph,t}^{procesamiento}
 \end{aligned}$$

(44)

Donde $Ck_{k,ph,mk,t}^{s.planta}$ es el precio unitario de los productos, $Cm_{m,ph}^{almacenamiento}$ son costos de almacenamiento de la materia prima en plantas secundarias, $Ck_{k,ph}^{almacenamiento}$ costos por almacenamiento de productos en procesamiento de plantas secundarias, $Ctk_{k,ph,mk,t}^{s.planta}$ son costos unitarios de transportación de plantas secundarias al

mercado, $Ctk_{k,ph,t}^{s.planta\ principal}$ costos unitarios de transportación de plantas secundarias a planta principales y $C_{m,k,r,ph,t}^{procesamiento}$ costos por procesamiento de plantas secundarias.

Por otra parte, la ganancia para sitios de cosecha se expresará:

$$\begin{aligned}
 gananciasit &= \sum_m \sum_h \sum_t C m_{m,h,t}^{producido} M_{m,h,t}^{producido} - \sum_m \sum_h C m_{m,h}^{almacenamiento\ sitios\ de\ cosecha} \\
 &- \sum_k \sum_{mk} C k_{k,mk}^{almacenamiento\ mercado} \\
 &- \sum_m \sum_h \sum_{ph} \sum_t C t m_{m,h,ph,t}^{sitios\ de\ cosecha\ s.planta} M_{m,h,ph,t}^{sitios\ de\ cosecha\ s.planta} \\
 &- \sum_m \sum_h \sum_t C t m_{m,h,t}^{sitios\ de\ cosecha\ principal} M_{m,h,t}^{sitios\ de\ cosecha\ principal}
 \end{aligned}
 \tag{45}$$

Donde $C m_{m,h,t}^{producido}$ es el costo unitario de materia prima, $C m_{m,h}^{almacenamiento\ principal}$ costos de almacenamiento de la materia prima en los sitios de cosecha, $C k_{k,mk}^{almacenamiento\ mercado}$ costos de almacenamiento de productos en los sitios de cosecha, $C t m_{m,h,ph,t}^{sitios\ de\ cosecha\ s.planta}$ y $C t m_{m,h,t}^{sitios\ de\ cosecha\ principal}$ son los costos unitarios de transportación de los sitios de cosecha a plantas secundarias y primarias.

Si se toma en cuenta que la función objetivo de la ganancia total se dividió en tres nuevas funciones objetivos, entonces, la ganancia total será distinta que la primera ya que en la primera se globalizaba todo y se optimiza como uno mismo. Por lo tanto, la ganancia total sería igual a la suma de las funciones objetivos individuales.

$$gananciatotal = gananciaref + gananciacsec + gananciasit \tag{46}$$

Función objetivo ambiental

La Función objetivo ambiental mide el impacto ambiental mediante el Eco-indicator99 el cual basado en la técnica de evaluación de ciclo de vida. El método del Eco-indicator99 se enfoca en medir el daño; método que continuamente se actualiza y considera once categorías de impacto, las cuales están divididas en tres categorías:

1. Daño a la salud humana debido a:
 - a. Carcinógenos
 - b. Sustancias orgánicas que perjudican el respirar
 - c. Sustancias inorgánicas que perjudican el respirar
 - d. Cambio climático
 - e. Deterioro de capa de ozono
2. Daño al ecosistema debido a:
 - a. Sustancias toxicas
 - b. acidificación y eutrofización
 - c. cambio y uso de suelo
3. daño por extracción de recursos
 - a. recursos minerales
 - b. combustibles fósiles

$$\begin{aligned}
El = & \sum_k \sum_{mk} \sum_t Econind_k^{producto} p_{k,mk,t}^{vendido} + \sum_m \sum_h \sum_t Ecoind_m^{materia\ prima} M_{m,h,t}^{producido} \\
& + \sum_m \sum_h \sum_{ph} \sum_t Ecoind_{m,h,ph}^{sitios\ de\ cosecha\ s.planta} M_{m,h,ph,t}^{sitios\ de\ cosecha\ s.planta} \\
& + \sum_m \sum_h \sum_t Ecoind_{m,h}^{sitios\ de\ cosecha\ principal} M_{m,h,t}^{sitios\ de\ cosecha\ principal} \\
& + \sum_k \sum_{ph} \sum_{mk} \sum_t Ecoind_{k,mk,ph}^{s.planta\ mercado} p_{k,mk,ph,t}^{s.planta\ mercado} \\
& + \sum_k \sum_{ph} \sum_t Ecoind_{k,ph}^{s.planta\ principal} p_{k,ph,t}^{s.planta\ principal} \\
& + \sum_k \sum_{mk} \sum_t Ecoind_{k,mk}^{principal\ mercado} p_{k,mk,t}^{principal\ mercado} \\
& + \sum_m \sum_k \sum_r \sum_{ph} \sum_t Ecoind_{m,k,r,ph,t}^{procesamiento} M_{m,k,r,ph,t}^{procesamiento} \\
& + \sum_m \sum_k \sum_r \sum_t Ecoind_{m,k,r,t}^{procesamiento\ principal} M_{m,k,r,t}^{procesamiento\ principal}
\end{aligned}
\tag{47}$$

Donde $Econind_k^{producto}$ es el eco.indicador99 para el uso del producto k y $Ecoind_m^{materia\ prima}$ es el que se usa para la producción de materia prima m .

$Ecoind_{m,h,ph}^{sitios\ de\ cosecha\ s.planta}$ y $Ecoind_{m,h}^{sitios\ de\ cosecha\ principal}$ son los eco-indicadores99 unitarios para la transportación de la materia prima m desde los sitios de cosecha h a las plantas secundarias ph y principales.

$Ecoind_{k,mk,ph}^{s.planta\ mercado}$, $Ecoind_{k,ph}^{s.planta\ principal}$ y $Ecoind_{k,mk}^{principal\ mercado}$ son los eco-indicadores99 unitarios para la transportación de productos desde los centros secundarios al mercado, centros secundarios a planta principal y de planta principal al mercado respectivamente. Finalmente, $Ecoind_{m,k,r,ph,t}^{procesamiento}$ y $Ecoind_{m,k,r,t}^{procesamiento\ principal}$ son los eco-

indicadores99 unitarios de proceso para los centros secundarios e instalaciones principales.

Función de objetivo social

El modelo considera el impacto social a través de los trabajos generados por la producción de materia prima ($Sl_m^{materia\ prima}$), *sitios de cosecha* $Sl_{m,h,ph}^{s.planta}$, $Sl_{m,h}^{s.planta}$, *sitios de cosecha* $Sl_{m,h}^{principal}$, $Sl_{m,h}^{principal}$, *s.planta* $Sl_{k,ph}^{s.planta}$, $Sl_{k,ph}^{s.planta}$, *s.planta* $Sl_{k,ph,mk}^{s.planta}$, $Sl_{k,ph}^{s.planta}$, *principal* $Sl_{k,mk}^{principal}$, $Sl_{k,mk}^{principal}$) y *procesamiento* $Sl_{m,k,r,ph,t}^{procesamiento}$, $Sl_{m,k,r,t}^{procesamiento}$). Este objetivo es difícil de incorporar porque los trabajos producidos tienen un impacto variable; los trabajos generados en los campos de cultivo de biomasa impactan diferente a la sociedad que los trabajos asociados a la planta de procesamiento, la cual requiere una variedad de trabajadores con diferentes historiales académicos. De cualquier manera, este objetivo es muy importante ya que puede producir una visión más integrada del desarrollo de SC de la biorefinería antes de tomar la decisión. Consecuentemente, la dimensión social de sostenibilidad es entregada in el modelo propuesto considerando que el sistema de procesamiento biomasa distribuida puede representar una ventaja al generar trabajos en distintas áreas. La función de objetivo social se mide por el número de trabajos generados en el ciclo total de vida de la SC como se muestra a continuación:

ganancia total no se verá afectado por esto al momento de optimizar. Por otra parte, si el valor de alguna de las W cambiara a 0 el valor de la ganancia total si se vería afectado y el programa se reajustaría para obtener el mejor valor posible de la ganancia total. El objetivo de este método es conocer que función objetivo, al ser alterada, afectaría menos el valor de la ganancia total, es decir, que área la optimización pudiéramos modificar sin perjudicar al proceso en general y que la ganancia fuera distribuida equitativamente entre los partidarios. Esto con el fin de que el partidario que gane más tenga un ingreso menor a su máximo para que el partidario que gane menos obtenga un ingreso mayor al que obtiene.

CAPITULO V

Análisis de Resultados

El problema fue formulado como un modelo lineal entero-mixto multi objetivo usando el simulador GAMS el cual contiene las ecuaciones antes descritas en el capítulo IV. El principal objetivo del modelo propuesto fue maximizar la ganancia total del proceso, en las secciones siguientes se explica a detalle la variable a tratar.

Para que el funcionamiento del modelo en GAMS® fuera posible, se hizo una clasificación de variables, variables positivas, sets, subsets, variables binarias y parámetros, las cuales están expresadas en el apartado de nomenclatura.

Como ya se mencionó anteriormente, el objetivo principal de este caso era maximizar la ganancia total optimizando las funciones objetivo (áreas) por separado, esto con las siguientes finalidades:

1. Conocer la ganancia individual de cada función objetivo tomando en cuenta los factores que influyan los posibles cambios dentro del objetivo.
2. Aplicar el método stakeholder y analizar la sensibilidad de las funciones objetivos para decidir la mejor opción dentro del esquema de justicia.

Al maximizar la ganancia total (suma de las ganancias individuales), el valor obtenido para las funciones objetivos fueron los óptimos (Figura 1.6). Sin embargo, no los máximos para cada función objetivo debido a que el objetivo principal no es maximizar las ganancias individuales.

```

          LOWER      LEVEL      UPPER      MARGINAL
---- VAR PROFIT      -INF      .      +INF      .
---- VAR PROFITMR     -INF  1.4282E+9      +INF      .
---- VAR PROFITHUB      .  6.0699E+8      +INF      .
---- VAR PROFITHV     -INF  6.5173E+8      +INF      .
---- VAR SI           -INF  6365.850      +INF      .
---- VAR EI           -INF  9.3607E+8      +INF      .
---- VAR TOTALPR     -INF  2.6869E+9      +INF      .

PROFIT  NET ANNUAL PROFIT
PROFITMR NET ANNUAL PROFIT FOR MAIN PROCESSING PLANT
PROFITHUB NET ANNUAL PROFIT FOR HUBS
PROFITHV NET ANNUAL PROFIT FOR HARVESTING SITES
SI  SOCIAL IMPACT (GENERATED JOBS)
EI  ENVIRONMENTAL IMPACT (MEASURED THROUGH ECOINDICATOR99 METHODOLOGY)
TOTALPR JUSTICE SYSTEM

```

```

**** REPORT SUMMARY :      0      NONOPT
                        0      INFEASIBLE
                        0      UNBOUNDED

```

```

GAMS 30.2.0 r482c588 Released Feb 7, 2020 WEX-WEI x86 64bit/MS Windows 08/27/20 11:49:37 Page 6
PLANING BIOREFINERY
E x e c u t i o n

```

Figura 1.6 resultados de GAMS

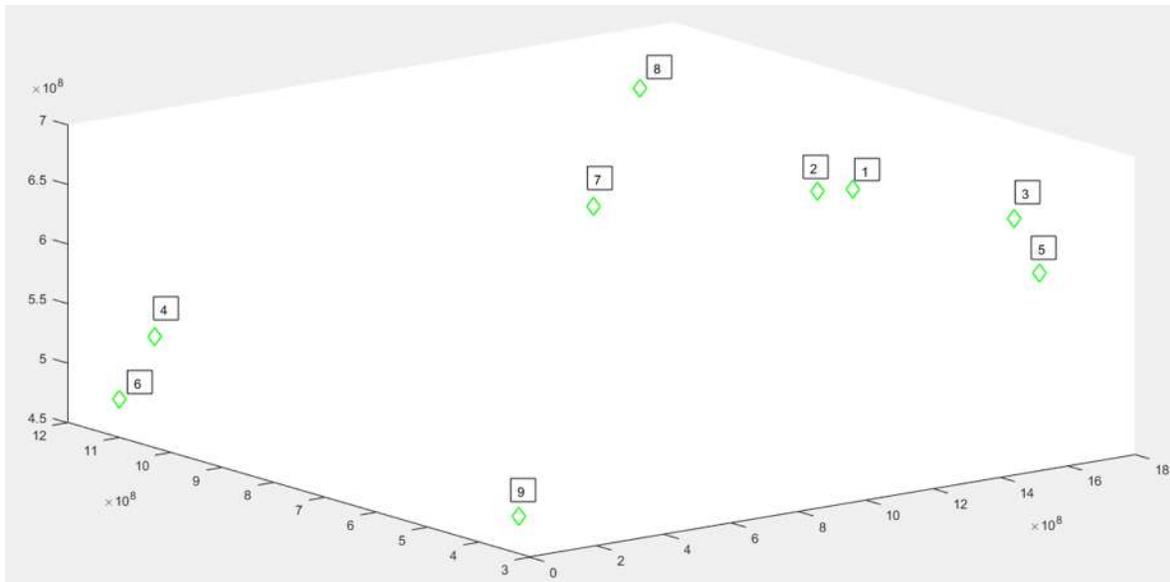
Concecuentemente, se desarrollo el analisis de sensibilidad variando los valores de W1, W2 y W3. Los resultados son los siguientes:

MAXIMIZANDO TOTALPR									
W1	W2	W3	TOTAL PROFIT	PROFITMR	PROFITHUB	PROFITHV	SI	EI	puntos
1	1	1	2.69E+09	1.43E+09	6.07E+08	6.52E+08	6365.85	9.36E+08	1
1	1	0	2.04E+09	1.39E+09	6.49E+08	6.47E+08	6595.58	9.24E+08	2
1	0	1	2.25E+09	1.60E+09	4.03E+08	6.45E+08	6055.768	9.16E+08	3
0	1	1	1.65E+09	1.36E+08	1.12E+09	5.26E+08	5147.21	7.03E+08	4
1	0	0	1.61E+09	1.61E+09	3.61E+08	6.04E+08	6188.168	8.67E+08	5
0	1	0	1.14E+09	6.21E+07	1.14E+09	4.74E+08	4822.942	6.22E+08	6
0	0	1	6.61E+08	7.61E+08	6.74E+08	6.61E+08	6551.717	9.37E+08	7

Tabla 1.0 Análisis de sensibilidad

Como se logra observar en la Tabla 1.0, al cambiar los valores de algunas de las W se modifican incluso los mismos valores de las funciones objetivo individuales, por lo que GAMS maximiza la función objetivo principal (ganancia total) obteniendo los

mejores valores posibles para cada función objetivo. A continuación, se grafican los puntos obtenidos para así visualizar gráficamente que función objetivo afecta menos al proceso. El eje X representa PROFITMR, el eje Y a PROFITHUB y el eje Z al PROFITHV.

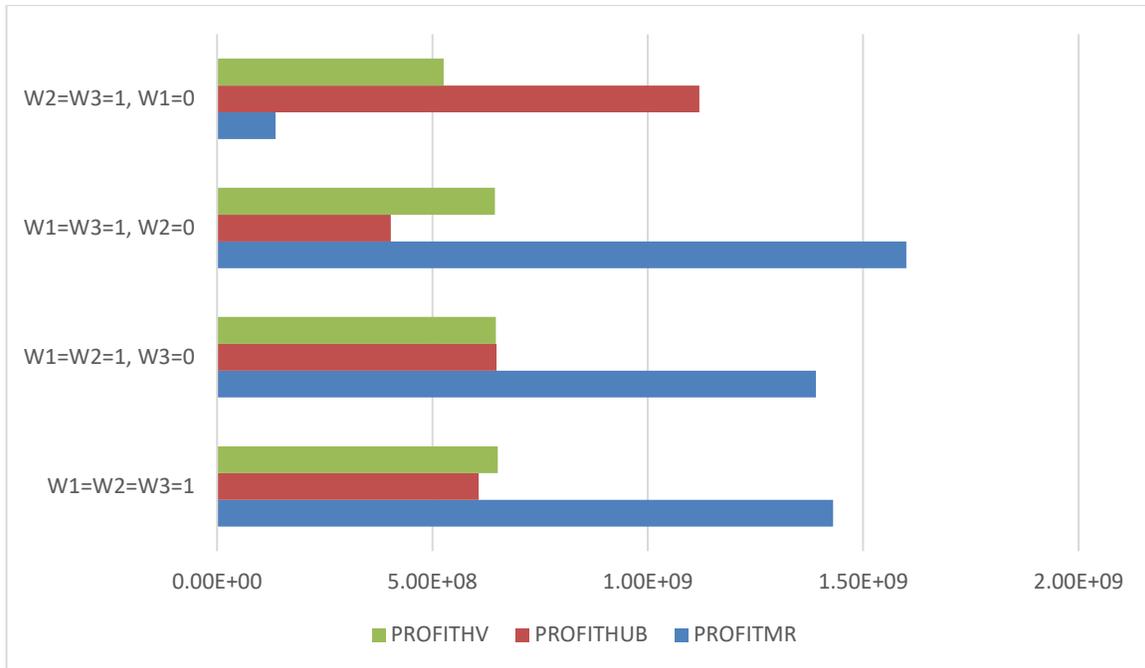


Grafica 1.0 Valores de TOTALPR

En la Gráfica 1.0 se puede observar lo siguiente:

Punto 1. El punto uno es el valor de la ganancia total cuando $W1=W2=W3=1$ (solución compromiso).

Punto 2, 3 y 4. Estos puntos representan las ganancias totales cuando alguna de las W vale 0 mientras las otras valen 1. En la Figura 1.7 se aprecia que la función objetivo que afectaría menos a la ganancia total es PROFITHV cuando $W3=0$ ya que el valor de la ganancia total se ve menos afectado comparado a la solución compromiso.



Grafica 1.1 análisis de sensibilidad para las funciones objetivo

Punto 5. Es el valor de la ganancia total cuando $W1=1$ y $W2=W3=0$, es decir se minimiza el objetivo PROFITMR. Por otra parte, este punto también es donde se obtiene un valor mayor para PROFITMR

Punto 6. Es el valor de la ganancia total cuando $W1=0$, $W2=1$, $W3=0$, cuando se minimiza el objetivo PROFITHUB. Por otra parte, este punto también es donde se obtiene un valor mayor para PROFITHUB

Punto 7. Valor de la ganancia total cuando $W1=W2=0$ y $W3=1$, minimizando el objetivo PROFITHV. Por otra parte, este punto también es donde se obtiene un valor mayor para PROFITHV.

Punto 8. Este valor es la ganancia total cuando se usa el mejor valor de cada objetivo individual, es decir, se toma el valor mayor de cada objetivo individual y se grafican juntos (Ese será la solución utópica porque es lo que se busca, aunque no es factible).

Punto 9. Este punto refleja el punto Nadir, que es el peor valor para cada objetivo individual

Conclusiones

Se cumplieron los objetivos planteados en este trabajo de investigación, se desarrolló un modelo matemático de una planeación óptima para la producción de biocombustibles aplicando sistemas de justicia.

El modelo consideró aspectos ambientales, económicos y sociales.

Basando esta investigación en los resultados obtenidos y reportados en el capítulo V y de acuerdo al código desarrollado en GAMS®, con el uso de un modelo MILP multiobjetivo, se obtuvieron valores tabulados que me permitieron llegar a la conclusión que la alteración de la función objetivo que menos perjudicaría la planeación óptima de este proyecto es PROFITHUB.

Tanto en la Tabla 1.0 como en las Gráficas 1.0 y 1.1, se puede visualizar que al modificar el valor de PROFITHV el valor de TOTALPR no cambia en un valor muy grande, en cambio el valor de PROFITHUB aumenta. Esto significa que al modificar la función objetivo PROFITHV nos permite una mejor repartición de bienes a los partidarios en una forma más equitativa ya que al modificarse esta función objetivo los otros partidarios no se verían tan afectados y la ganancia total sería lo más parecida a la solución compromiso.

Por último, se cumplió el objetivo general, el cual es tener la mejor y más óptima planeación para producción de biocombustibles tomando en cuenta los aspectos económicos, sociales y ambientales. El punto mas importante de esta optimización fue que al cumplir el objetivo principal se aplicaran los sistemas de justicia y así conocer en qué área del proceso general se pudiera modificar la planeación con el objetivo de que la ganancia fuera mas equitativa, en la Figura 1.7 se muestra

claramente que al modificar la planeación en los sitios de cosecha no afecta significativamente la ganancia total porque la ganancia de la planta principal (PROFITMR) disminuye muy poco y la ganancia de los centros secundarios aumenta (PROFITHUB) mientras la ganancia de los sitios de cosecha se mantiene constante. Por lo tanto, esto significa que el que gana más obtendrá un ingreso menor para que el que tenga un ingreso menor pueda ganar un poco más y la repartición de los bienes sea más justa cumpliendo con el esquema de justicia.

Nomenclatura

Conjuntos

M conjunto que contiene la materia prima K

R conjunto de rutas de proceso

H conjunto que contiene los sitios de

PH conjunto que contiene las plantas secundarias de proceso

MK conjunto que contiene el mercado

T conjunto que contiene los periodos de tiempo

Índices

m índice que muestra los elementos contenidos dentro del conjunto M

k índice que muestra los elementos contenidos dentro del conjunto K

r índice que muestra los elementos contenidos dentro del conjunto R

h índice que muestra los elementos contenidos dentro del conjunto H

ph índice que muestra los elementos contenidos dentro del conjunto PH

mk índice que muestra los elementos contenidos dentro del conjunto MK

t índice que muestra los elementos contenidos dentro del conjunto T

Parámetros

$\alpha_{m,k,r}$ Factor de eficiencia para la conversión de materia prima m a producto k a través de la ruta de proceso $\left(\frac{\text{ton de producto}}{\text{ton materia prima}} \right)$

$Ck_{k,mk,t}^{vendido}$ Costo unitario del producto k en el mercado mk durante el periodo de tiempo t $\left(\frac{\$US}{ton\ de\ producto}\right)$

$Ck_{m,h,t}^{producido}$ Costo unitario para la producción de materia prima m en el sitio de cosecha h durante el periodo de tiempo t $\left(\frac{\$US}{ton\ materia\ prima}\right)$

$Cm_{m,h}^{almacenamiento\ principal}$, $Cm_{m,ph}^{almacenamiento\ s.planta}$, $Cm_m^{almacenamiento\ principal}$ Costos de almacenamiento de la materia en sitios de cosecha h, plantas secundarias ph y plantas principales (\$US)

$Ck_{s.planta,k,ph}^{almacenamiento}$, $Ck_k^{almacenamiento\ principal}$ y $Ck_{k,mk}^{almacenamiento\ mercado}$ Costos de almacenamiento de producto k en plantas secundarias, planta principal y los mercados mk (\$US)

$Ctm_{m,h,ph,t}^{sitios\ de\ cosecha\ s.planta}$ Costo unitario para la transportación de materia m de los sitios de cosecha a planta secundaria ph en el periodo de tiempo t $\left(\frac{\$US}{ton\ materia\ prima}\right)$

$Ctm_{m,h,t}^{sitios\ de\ cosecha\ principal}$ Costo unitario para la transportación de materia m de los sitios de cosecha a planta principal en el periodo de tiempo t, $\left(\frac{\$US}{ton\ materia\ prima}\right)$

$Ctk_{k,ph,mk,t}^{s.planta\ mercado}$ Costo unitario para la transportación de producto k de las plantas secundarias ph al mercado mk en el periodo de tiempo t, $\left(\frac{\$US}{ton\ de\ producto}\right)$

$Ctk_{k,ph,t}^{s.planta\ principal}$ Costo unitario para la transportación de producto k de las plantas secundarias ph a la planta principal en el periodo de tiempo t, $\left(\frac{\$US}{ton\ de\ producto}\right)$

$Ctk_{k,mk,t}^{principal\ mercado}$. Costo unitario para la transportación de producto k de la planta principal ph al mercado mk en el periodo de tiempo t, $\left(\frac{\$US}{ton\ de\ producto}\right)$

$C_{m,k,r,ph,t}^{procesamiento}$, $C_{m,k,r,t}^{principal}$ costos unitarios de procesamientos para producir producto k usando materia m a través de rutas de procesamiento r, en plantas secundarias y principales durante el periodo de tiempo t, $\left(\frac{\$US}{ton\ materia\ prima}\right)$

$Ecoind_k^{producto}$ eco.indicador99 unitario para el uso del producto k, $\left(\frac{Eco-indicador99}{ton\ de\ producto}\right)$

$Ecoind_m^{materia\ prima}$ eco.indicador99 unitario para la producción de materia prima m, $\left(\frac{Eco-indicador99}{ton\ materia\ prima}\right)$

$Ecoind_{m,h,ph}^{s.planta}$ eco.indicador99 unitario para la transportación de materia m desde el sitio de cosecha h hasta la planta secundaria ph, $\left(\frac{Eco-indicador99}{ton\ materia\ prima}\right)$

$Ecoind_{m,h}^{s.planta\ principal}$ eco.indicador99 unitario para la transportación de materia m desde el sitio de cosecha h hasta la planta principal, $\left(\frac{Eco-indicador99}{ton\ materia\ prima}\right)$

$Ecoind_{k,mk,ph}^{s.planta\ mercado}$ eco.indicador99 unitario para la transportación de producto k desde plantas secundarias ph hasta mercados mk, $\left(\frac{Eco-indicador99}{ton\ de\ producto}\right)$

$Ecoind_{k,ph}^{s.planta\ principal}$ eco.indicador99 unitario para la transportación de producto k desde plantas secundarias ph hasta planta principal, $\left(\frac{Eco-indicador99}{ton\ de\ producto}\right)$

$Ecoind_{k,mk}^{principal\ mercado}$ eco.indicador99 unitario para la transportación de producto k desde plantas principales hasta mercados mk, $\left(\frac{Eco-indicador99}{ton\ de\ producto}\right)$

$Ecoind_{m,k,r,ph,t}^{procesamiento}$ eco.indicador99 unitario para producir el producto k usando materia m a través de rutas de proceso r en el periodo de tiempo t en la plantas secundarias, $\left(\frac{Eco-indicador99}{ton\ materia\ prima}\right)$

$Ecoind_{m,k,r,t}^{principal\ procesamiento}$ eco.indicador99 unitario para producir el producto k usando materia m a través de rutas de proceso r en el periodo de tiempo t en la plantas principales, $\left(\frac{Eco-indicador99}{ton\ materia\ prima}\right)$

$M_{m,h,t}^{sup\ producido}$ Producción máxima de materia m que puede ser producida en los sitios de cosecha h en el periodo de tiempo t, $\left(\frac{ton\ materia\ prima}{mensual}\right)$

$Sm_{s,l}^{superior\ l}$, $Sm_{s,l}^{inferior\ l}$ limite superior e inferior para almacenamiento de material s en la localización l, (ton)

$Sl_m^{materia\ prima}$ Trabajos generados para producir m, $\left(\frac{trabajos}{ton\ materia\ prima}\right)$

$Sl_{m,h,ph}^{sitios\ de\ cosecha\ s.planta}$ Trabajos generados para transportar materia m desde los sitios de cosecha h hasta plantas secundarias ph, $\left(\frac{trabajos}{ton\ materia\ prima}\right)$

$Sl_{m,h}^{sitios\ de\ cosecha\ principal}$ Trabajos generados para transportar materia m desde los sitios de cosecha h hasta plantas principales, $\left(\frac{trabajos}{ton\ materia\ prima}\right)$

$Slm_{k,ph}^{s.planta\ principal}$ Trabajos generados para transportar materia m desde las plantas secundarias hasta plantas principales, $\left(\frac{trabajos}{ton\ materia\ prima}\right)$

$Sl_{k,ph,mk}^{s.planta\ mercado}$ Trabajos generados para transportar producto k desde las plantas secundarias ph hasta los mercados mk, $\left(\frac{trabajos}{ton\ producto}\right)$

$Sl_{k,ph}^{s.planta\ principal}$ Trabajos generados para transportar producto k desde las plantas secundarias ph hasta las plantas principales, $\left(\frac{trabajos}{ton\ producto}\right)$

$Sl_{k,mk}^{principal\ mercado}$ Trabajos generados para transportar producto k desde las plantas principales hasta los mercados mk, $\left(\frac{trabajos}{ton\ producto}\right)$

$Sl_{m,k,r,ph,t}^{procesamiento}$, $Sl_{m,k,r,t}^{principal}$ *procesamiento* Trabajos generados para producir producto k usando materia m a través de rutas de proceso r durante el periodo de tiempo t en las plantas secundarias y primarias, respectivamente, $\left(\frac{trabajos}{ton\ materia\ prima}\right)$

Variables

$M_{m,h,t}^{sitio\ de\ cosecha}$ Materia m acumulada al final del periodo t en los sitios de cosecha h, $\left(\frac{ton\ materia\ prima}{mensual}\right)$

$M_{m,h,t}^{producido}$ Materia m producida al final del periodo t en los sitios de cosecha h, $\left(\frac{ton\ materia\ prima}{mensual}\right)$

$M_{m,h,ph,t}^{sitio\ de\ cosecha-s.planta}$ Materia m transportada desde los sitios de cosecha h hasta las plantas secundarias ph al final del periodo de tiempo t, $\left(\frac{ton\ materia\ prima}{mensual}\right)$

$M_{m,h,t}^{sitio\ de\ cosecha-principal}$. Materia m transportada desde los sitios de cosecha h hasta las plantas principales ph al final del periodo de tiempo t, $\left(\frac{ton\ materia\ prima}{mensual}\right)$

$M_{m,ph,t}^{s.plant}$ Materia m acumulada al final del periodo de tiempo en la planta secundaria ph, $\left(\frac{ton\ materia\ prima}{mensual}\right)$

$Me_{m,h,ph,t}^{sitio\ de\ cosecha-s.planta}$ Materia m recibida de los sitios de cosecha h a las plantas secundarias ph al final del periodo t, $\left(\frac{ton\ materia\ prima}{mensual}\right)$

$M_{m,k,r,ph,t}^{proceso}$ Materia m procesada en los centros secundarios ph a través de una ruta de proceso r para producir producto k al final del periodo de tiempo t, $\left(\frac{ton\ materia\ prima}{mensual}\right)$

$M_{m,t}^{principal}$ Materia m acumulada al final del periodo de tiempo en la planta principal, $\left(\frac{ton\ materia\ prima}{mensual}\right)$

$Me_{m,ph,t}^{s.planta\ principal}$ Materia m recibida de las plantas secundarias para plantas principales al final del periodo t, $\left(\frac{ton\ materia\ prima}{mensual}\right)$

$Me_{m,h,t}^{sitio\ de\ cosecha\ principal}$ Materia m recibida de los sitios de cosecha para plantas principales al final del periodo t, $\left(\frac{ton\ materia\ prima}{mensual}\right)$

$M_{m,k,r,t}^{proceso\ principal}$. Materia m procesada en la planta principal a través de una ruta de proceso r para producir producto k al final del periodo de tiempo t, $\left(\frac{ton\ materia\ prima}{mensual}\right)$

$P_{k,ph,t}^{s.planta}$ Producto k acumulado al final del periodo de tiempo t en la planta secundaria ph, $\left(\frac{ton\ producto}{mensual}\right)$

$P_{m,k,r,ph,t}^{producido}$ Producto k producido con materia m a través de una ruta de proceso r en los centros secundarios ph al final del periodo t, $\left(\frac{ton\ producto}{mensual}\right)$

$P_{k,t}^{principal}$ Producto k acumulado en la planta principal al final del periodo de tiempo, $t\left(\frac{ton\ producto}{mensual}\right)$

$P_{m,k,r,t}^{producido\ principal}$ Producto k producido con materia m a través de una ruta de proceso r al final del periodo de tiempo, $t\left(\frac{ton\ producto}{mensual}\right)$

$Pe_{k,ph,t}^{s.planta\ principal}$ Producto k recibida en plantas principales desde las plantas secundarias al final del periodo de tiempo, $t\left(\frac{ton\ producto}{mensual}\right)$

$P_{k,mk,t}^{mercado\ principal}$ Producto k transportado desde la planta principal hacia el mercado mk al final del periodo de tiempo, $t\left(\frac{ton\ producto}{mensual}\right)$

$P_{k,ph,mk,t}^{s.planta-mercado}$ Producto k recibido de plantas secundarias al final del periodo de tiempo, t $\left(\frac{\text{ton producto}}{\text{mensual}}\right)$

$P_{k,mk,t}^{principal-market}$ Producto k recibido de plantas principales al final del periodo de tiempo, t $\left(\frac{\text{ton producto}}{\text{mensual}}\right)$

$P_{k,mk,t}^{vendido}$ Producto k vendido en el mercado mk al final del periodo de tiempo, t $\left(\frac{\text{ton producto}}{\text{mensual}}\right)$

$S_{s,l,t}^l$ Material s guardado en locación l en el periodo de tiempo t, $\left(\frac{\text{ton producto o materia prima}}{\text{mensual}}\right)$

gananciasit Ganancia total en sitios de cosecha al final de la producción, (\$US)

gananciacsec Ganancia total en plantas secundarias al final de la producción, (\$US)

gananciaref Ganancia total en plantas principales al final de la producción, (\$US)

Bibliografía

http://sds.uanl.mx/desarrollo_sustentable/

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27803/tesisUPV9008.pdf?sequence=1>

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/14649/37527>

<https://www.redalyc.org/pdf/325/32512739009.pdf>

Referencias

- ⁱ [L. Jansen \(2003\)The challenge of sustainable development](#)
- ⁱⁱ [Vachon y Mao \(2008\) Linking supply chain strength to sustainable development: a country-level analysis](#)
- ⁱⁱⁱ [Lozano \(2008\). Envisioning sustainability three-dimensionally](#)
- ^{iv} [Cucek et al. \(2012\). A Review of Footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability Journal of Cleaner Production Volume 34, October 2012, Pages 9-20](#)
- ^v [Lozano, R., Huisingh, D., 2011. Inter-linking issues and dimensions in sustainability reporting. Journal of Cleaner Production 19 \(2e3\), 99e107.](#)
- ^{vi} [Lozano, R., 2012. Towards better embedding sustainability into companies' systems: an analysis of voluntary corporate initiatives. Journal of Cleaner Production 25, 14e26.](#)
- ^{vii} [Santiago García Garrido. Centrales Termoeléctricas de Biomasa](#)
- ^{viii} [Bao, B., Ng, D.K.S., Tay, D.H.S., Jiménez-Gutiérrez, A., El-Halwagi, M.M., 2011. A shortcut method for the preliminary synthesis of process-technology pathways: an optimization approach and application for the conceptual design of integrated biorefineries. Computers and Chemical Engineering 35 \(8\), 1374e1383.](#)
- ^{ix} [Ng, D.K.S., 2010. Automated targeting for the synthesis of an integrated biorefinery.Chemical Engineering Journal 162 \(1\), 67e74.](#)
- ^x [Pham, V., El-Halwagi, M.M., 2012. Process synthesis and optimization of biorefineryconfigurations. AIChE Journal 58 \(4\), 1212e1221.](#)
- ^{xi} [Ponce-Ortega, J.M., Pham, V., El-Halwagi, M.M., El-Baz, A., 2012. A disjunctive programming formulation for the optimal design of biorefinery configurations. Industrial and Engineering Chemistry Research 51 \(8\), 3381e3400.](#)
- ^{xii} [Aksoy, B., Cullinan, H.T., Sammons Jr., N.E., Eden, M.R., 2008. Identification of optimal poultry litter biorefinery location in Alabama through minimization of feedstock transportation cost. Journal of Environmental Progress 27 \(4\), 515e523.](#)
- ^{xiii} [Sammons Jr., N., Eden, R.M., Yuan, W., Cullinan, H., Aksoy, B., 2007. A flexible framework for optimal biorefinery product allocation. Environmental Progress and Sustainable Energy 26 \(4\), 349e354.](#)
- ^{xiv} [Sammons Jr., N.E., Yuan, W., Eden, M.R., Aksoy, B., Cullinan, H.T., 2008. Optimal biorefinery product allocation by combining process and economic modeling. Chemical Engineering Research and Design 86 \(7\), 800e808.](#)
- ^{xv} [Van Dyken, S., Bakken, B.H., Skjelbred, H.I., 2010. Linear mixed-integer models for biomass supply chains with transport, storage and processing. Energy 35 \(3\), 1338e1350.](#)

-
- ^{xvi} [Elms, R.D., El-Halwagi, M.M., 2009. Optimal scheduling and operation of biodiesel plants with multiple feedstocks. International Journal of Process Systems Engineering 1 \(1\), 1e28.](#)
- ^{xvii} [Bowling, I.M., Ponce-Ortega, J.M., El-Halwagi, M.M., 2011. Facility location and supply chain optimization for a biorefinery. Industrial and Engineering Chemistry Research 50 \(10\), 6276e6286.](#)
- ^{xviii} [Akgul, O., Zamboni, A., Bezzo, F., Shah, N., Papageorgiou, L.G., 2011. Optimization-based approaches for bioethanol supply chains. Industrial and Engineering Chemistry Research 50 \(9\), 4927e4938.](#)
- ^{xix} [Aksoy, B., Cullinan, H.T., Webster, D., Gue, K., Sukumaran, S., Sammons Jr., N.E., Eden, M.R., 2011. Woody biomass and mill waste utilization opportunities in Alabama: transportation cost minimization, optimum facility location, economic feasibility, and impact. Environmental Progress and Sustainable Energy 30 \(4\), 720e732.](#)
- ^{xx} [Corsano, G., Vecchiotti, A.R., Montagna, J.M., 2011. Optimal design for sustainable bioethanol supply chain considering detailed plant performance model. Computers and Chemical Engineering 35 \(8\), 1384e1398.](#)
- ^{xxi} [Kim, J., Realf, M.J., Lee, J.H., Whittaker, C., Furtner, L., 2011. Design of biomass processing network for biofuel production using an MILP model. Biomass and Bioenergy 35 \(2\), 853e871.](#)
- ^{xxii} [Mansoornejad, B., Chambost, V., Stuart, P., 2010. Integrating product portfolio design and supply chain design for the forest biorefinery. Computers and Chemical Engineering 34 \(9\), 1497e1506.](#)
- ^{xxiii} [Cherubini, F., Bird, N.D., Cowie, A., Jungmeier, G., Schlamadinger, B., Woess-Gallasch, S., 2009. Energy and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bio-energy systems: key issues, ranges and recommendations. Resources Conservation and Recycling 53 \(8\), 434e447.](#)
- ^{xxiv} [Herva, M., Franco, A., Carrasco, E.F., Roca, E., 2011. Review of corporate environmental indicators. Journal of Cleaner Production 19, 1687e1699.](#)
- ^{xxv} [Hugo, A., Pistikopoulos, E.N., 2005. Environmentally conscious long-range planning and design of supply chain networks. Journal of Cleaner Production 13 \(15\), 1471e1491.](#)
- ^{xxvi} [Zamboni, A., Shah, N., Bezzo, F., 2009. Spatially explicit static model for the strategic design of future bioethanol production systems. 2. Multi-objective environmental optimization. Energy and Fuels 23 \(10\), 5134e5143.](#)
- ^{xxvii} [Mele, F.D., Guillén-Gosálbez, G., Jiménez, L., 2009. Optimal planning of supply chains for bioethanol and sugar production with economic and environmental concerns. Computer Aided Chemical Engineering 26, 997e1002.](#)
- ^{xxviii} [You, F., Wang, B., 2011. Life cycle optimization of biomass-to-liquids supply chains with distributed-centralized processing networks. Industrial and Engineering Chemistry Research 50 \(17\), 10102e10127.](#)

-
- ^{xxxix} [Santibañez-Aguilar, J.E., González-Campos, J.B., Ponce-Ortega, J.M., Serna-González, M., El-Halwagi, M.M., 2011. Optimal planning of a biomass conversionsystem considering economic and environmental aspects. Industrial and Engineering Chemistry Research 50 \(14\), 8558e8570.](#)
- ^{xxx} [You, F., Tao, L., Graciano, D.J., Snyder, S.W., 2012. Optimal design of sustainable cellulosic biofuel supply chains: multiobjective optimization coupled with life cycle assessment and input-output analysis. AIChE Journal 58 \(4\), 1157e1180.](#)
- ^{xxxix} [Carlos Miret, Philippe Chazara, Ludovic Montastruc, Stéphane Negny, Serge Domenechab, 2016. Design of bioethanol green supply chain: Comparison between first and second generation biomass concerning economic, environmental and social criteria. Computers & Chemical Engineering 85,16e35](#)
- ^{xxxix} [José Ezequiel Santibañez-Aguilar, Ricardo Morales-Rodriguez, Janett Betzabe González-Campos, José María Ponce-Ortega, 2016. Stochastic design of biorefinery supply chains considering economic and environmental objectives. Journal of Cleaner Production 136 \(B\), 224e245](#)
- ^{xxxix} [Reza Babazadeh, Jafar Razmi, Masoud Rabbani, Mir Saman Pishvae, 2017. An integrated data envelopment analysis–mathematical programming approach to strategic biodiesel supply chain network design problem. Journal of Cleaner Production 147, 694e707](#)
- ^{xxxix} [Rex T.L.Ng, Christos T.Maravelias, 2017. Design of biofuel supply chains with variable regional depot and biorefinery locations. Renewable Energy 100, 90e102](#)
- ^{xxxix} [Mohammad Fattahi, Kannan Govindan, 2018. A multi-stage stochastic program for the sustainable design of biofuel supply chain networks under biomass supply uncertainty and disruption risk: A real-life case study. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 118, 534e567](#)
- ^{xxxix} [Arturo Álvarez del Castillo-Romo, Ricardo Morales-Rodriguez & Alicia Román-Martínez, 2018. Multiobjective optimization for the socio-eco-efficient conversion of lignocellulosic biomass to biofuels and bioproducts. Clean Technologies and Environmental Policy 20, 603e620](#)
- ^{xxxix} [Anna Panteli, Sara Giarola, Nilay Shah, 2018. Supply Chain Mixed Integer Linear Program Model Integrating a Biorefining Technology Superstructure. I&EC journal](#)
- ^{xxxix} [Cong Gao, Daogang Qu, Yang Yang, 2019. Optimal Design of Bioenergy Supply Chains Considering Social Benefits: A Case Study in Northeast China. Industry 4.0 and Sustainable Supply Chain Management 7 \(7\), 437](#)
- ^{xxxix} [Seyyed Amir Babak Rasmi, Cem Kazan, Metin Türkay, 2019. A multi-criteria decision analysis to include environmental, social, and cultural issues in the sustainable aggregate production plans. Computers & Industrial Engineering 132, 348e360](#)

ANEXOS

ANEXOS

Código GAMS®

§TITLE PLANING BIOREFINERY

§ONEMPTY;

SETS

M BIORESOURCES /1*21/

*1.- WOOD CHIPS

*2.- WHEAT STRAW

*3.- PALM OIL SHELL

*4.- RICE STRAW

*5.- SAWDUST

*6.- COMERCIAL WOOD

*7.- SUGAR CANE

*8.- WHEAT

*9.- GRAIN CORN

*10.- GRAIN SORGHUM

*11.- CASSAVA ROOT

*12.- SUGAR BEET

*13.- SWEET SORGHUM

*14.- SOY

*15.- AFRICAN PALM OIL

*16.- SUNFLOWER

*17.- CASTOR

*18.- COTTON

*19.- RAPESEED

*20.- JATROPHA

*21.- SAFFLOWER

K PRODUCTS /1*3/

-
- *1.- ETHANOL
 - *3.- HYDROGEN
 - *2.- BIODIESEL

R ROUTES /1*10/

- *1.- PRETREATMENT ACID HYDROLYSIS AND FERMENTATION
- *2.- PRETREATMENT GASIFICATION AND BIOSYNTESIS
- *3.- PRETREATMENT GASIFICATION AND CHEMICAL SYNTESIS
- *4.- HYDROLYSIS AN FERMENTATION WITH BLACK FERMENTATION FOR HYDROGEN
- *5.- CATALITIC PIROLYSIS WITH LA/AL2O3
- *6.- CATALITIC PIROLYSIS WITH GAMMA/AL2O3
- *7.- CATALITIC PIROLYSIS WITH CR2O3
- *8.- CATALITIC PIROLYSIS WITH NICKEL
- *9.- CATALITIC PIROLYSIS WITH CU-MCM-41
- *10.- PRETREATMENT EXTRACTION AND TRANSESTERIFICATION WITH ETHANOL

H HARVESTING REGIONS /1*6/

- *1.- NORTH WEST REGION (STATES: SONORA, DURANDO, NAYARIT, BAJA CALIFORNIA, BAJA CALIFORNIA SUR AND SINALOA MAINLY)
- *2.- SOUTH REGION (STATES: TABASCO, CAMPECHE, YUCATAN, QUINTANA ROO, OAXACA AND CHIAPAS MAINLY)
- *3.- CENTER-WEST REGION (STATES: MICHOACAN, JALISCO, GUANAJUATO, GUERRERO AND COLIMA STATE)
- *4.- NORTH EAST REGION (STATES: NUEVO LEON, CHIHUAHUA, ZACATECAS, AGUAS CALIENTES AND COAHULIA)
- *5.- EAST REGION (STATES: PUEBLA, TAMAULIPAS, HIDALGO, SAN LUIS AND VERACRUZ)
- *6.- CENTER REGION (STATES: MEXICO CITY, ESTADO DE MEXICO, QUERETARO, TLAXCALA, MORELOS)

*It is important to note that the name of considered states for each region is provided.

*GAMS consider the regions in a numeric way. However, through this comment, we can associate

*the GAMS number to a specific location according to the case study.

PH PROCESSING HUBS /1*5/

*1.-Salamanca

*2.-Cadereyta

*3.-Cd. Madero

*4.-Minatitlan

*5.-Salina Cruz

*MAIN PROCESSING PLANT IS TULA

*Also, the processing hubs location is provided. It is worth noting that TULA

*is not associated to any index since this processing plant is known how the main plant

MK MARKETS /1*5/

*1.-CENTER(STATES: Mexico City, Estado de Mexico, Higalgo, Tlaxcala, Morelos, Veracruz, Queretaro and Puebla)

*2.-NORTH EAST (STATES: NUEVO LEON, TAMAULIPAS, SAN LUIS, COAHUILA, ZACATECAS AND CHIHUAHUA)

*3.-CENTER WEST (STATES: JALISCO, NAYARIT, COLIMA, AGUAS CALIENTES, MICHOACAN, DURANGO AND GUERRERO)

*4.-NORTH WEST (STATES: BAJA CALIFORNIA, BC SUR, SONORA AND SINALOA)

*5.-SOUTH (STATES: CHIAPAS, OAXACA, TABASCO, CAMPECHE, YUCATAN AND QUINTANA ROO)

*Furthermore, the consumption regions are identified by numbers and these numbers are related

*with specific locations.

T TIME PERIODS /1*12/;

ALIAS (T,T1,T2,T3,T4,T5,T6);

PARAMETERS

*FLOWS

MAXMPROD(M,H,T) MAXIMUM RAW MATERIAL PRODUCED IN HARVESTING SITE H AT END OF TIME PERIOD T (TON PER YEAR)

/

*WOOD CHIPS

1.1.1*12 5083.858413

1.2.1*12 1700.698296

1.3.1*12 3310.802494

1.4.1*12 4213.213834

1.5.1*12 779.4622076

1.6.1*12 779.4622076

*COMERCIAL WOOD

6.1.1*12 1840.568359

6.2.1*12 615.7235739

6.3.1*12 1198.648313

6.4.1*12 1525.358781

6.5.1*12 282.1977639

6.6.1*12 282.1977639

*SUGAR CANE

7.1.1 533008

7.2.1 3025668

7.3.1 2748833

7.5.1 6219260

7.6.1 594493

7.1.2 395977

7.2.2 1094683

7.3.2 1116699

7.5.2 4458579

7.6.2 258901

7.1.3 775646

7.2.3 2184954

7.3.3 1470949

7.5.3 5769145

7.6.3 348528

7.1.4 529242
7.2.4 1669491
7.3.4 1820716
7.5.4 5178078
7.6.4 296504

7.1.5 744649
7.2.5 1334888
7.3.5 752872
7.5.5 3426659
7.6.5 370420

7.1.6 558202
7.2.6 282295
7.3.6 366686
7.5.6 682132

7.1.7 389363
7.2.7 113518
7.3.7 110452
7.5.7 1384818

*GRAIN CORN

9.1.1 194
9.2.1 11805
9.3.1 1319
9.5.1 9633

9.1.2 222
9.2.2 58713
9.3.2 255
9.5.2 15896

9.1.3 29763

9.2.3 62752

9.3.3 5180

9.5.3 30375

9.1.4 84305

9.2.4 65346

9.3.4 78290

9.5.4 108580

9.6.4 1490

9.1.5 1785225

9.2.5 57243

9.3.5 37821

9.4.5 270

9.5.5 237199

9.6.5 1289

9.1.6 3224777

9.2.6 10311

9.3.6 1319

9.4.6 1705

9.5.6 85922

9.6.6 914

9.1.7 89881

9.2.7 16306

9.3.7 8037

9.5.7 242639

9.6.7 1307

9.1.8 3778

9.2.8 12392

9.3.8 1079

9.4.8 1419

9.5.8 190775

9.6.8 478

9.1.9 7337

9.2.9 4203

9.3.9 225

9.5.9 45317

9.6.9 170

9.1.10 281066

9.2.10 223921

9.3.10 603659

9.4.10 241622

9.5.10 304867

9.6.10 55190

9.1.11 111428

9.2.11 497902

9.3.11 1787921

9.4.11 1047587

9.5.11 1056438

9.6.11 612789

9.1.12 224323

9.2.12 460400

9.3.12 2580913

9.4.12 110359

9.5.12 615297

9.6.12 995510

*GRAIN SORGHUM

10.1.1 0

10.2.1 0

10.3.1 896

10.4.1 0

10.5.1 480

10.6.1 0

10.1.2 1000

10.2.2 747

10.3.2 16

10.4.2 0

10.5.2 0

10.6.2 0

10.1.3 9466

10.2.3 7864

10.3.3 1993

10.4.3 0

10.5.3 19865

10.6.3 0

10.1.4 215244

10.2.4 27216

10.3.4 15101

10.4.4 0

10.5.4 85780

10.6.4 0

10.1.5 8045

10.2.5 13364

10.3.5 7849

10.4.5 0

10.5.5 45188

10.6.5 0

10.1.6 23186

10.2.6 10315

10.3.6 3680

10.4.6 19066

10.5.6 1893824

10.6.6 0

10.1.7 394771

10.2.7 3773

10.3.7 428

10.4.7 4400

10.5.7 501646

10.6.7 0

10.1.8 59919

10.2.8 597

10.3.8 492

10.4.8 10059

10.5.8 1821

10.6.8 0

10.1.9 44783

10.2.9 130

10.3.9 2959

10.4.9 1243

10.5.9 9927

10.6.9 0

10.1.10 7791

10.2.10 1117

10.3.10 456005

10.4.10 22183

10.5.10 881

10.6.10 13641

10.1.11 80092

10.2.11 7023

10.3.11 959629

10.4.11 52547

10.5.11 87819

10.6.11 191951

10.1.12 103934

10.2.12 17127

10.3.12 519013

10.4.12 27017

10.5.12 329187

10.6.12 41774

*SWEET SORGHUM

13.1.1 7625

13.3.1 17786

13.1.2 58755

13.3.2 6151

13.5.2 595

13.1.3 12414

13.2.3 4787

13.3.3 38791

13.5.3 2755

13.1.4 84221

13.2.4 1852

13.3.4 113274

13.5.4 4600

13.6.4 225

13.1.5 25722

13.2.5 1060

13.3.5 9782

13.4.5 180

13.5.5 7115

13.6.5 1105

13.1.6 45410

13.2.6 1095

13.3.6 10491

13.4.6 50413

13.6.6 233

13.1.7 48943

13.3.7 3519

13.4.7 39083

13.5.7 2725

13.6.7 447

13.1.8 199258

13.2.8 220

13.3.8 3409

13.4.8 475238

13.5.8 4000

13.6.8 4743

13.1.9 424088

13.2.9 317

13.3.9 5476

13.4.9 304165

13.5.9 7289

13.6.9 1148

13.1.10 227577

13.2.10 406

13.3.10 229133

13.4.10 346089

13.5.10 3581

13.6.10 2256

13.1.11 332236

13.2.11 1039

13.3.11 257755

13.4.11 253728

13.5.11 16410

13.6.11 3046

13.1.12 184921

13.2.12 365

13.3.12 307985

13.4.12 183950

13.5.12 4560

13.6.12 5933

*AFRICAN PALM

15.2.1*12 24517

15.5.1*12 6129

*JATROPHA

20.2.1*12 44150

20.3.1*12 44150

20.4.1*12 44150

*SAFFLOWER

21.1.3 3817

21.3.3 128

21.1.4 4113

21.3.4 352

21.5.4 2662

21.1.5 73

21.3.5 3372

21.5.5 9826

21.1.6 14809

21.3.6 6301

21.4.6 90

21.5.6 1227

21.1.7 41327

21.3.7 118

21.5.7 977

21.1.8 1608

21.3.8 44

21.1.9 6836

21.3.9 750

21.4.11 15

/

PDEMAND(K,MK,T) MAXIMUM DEMAND OF PRODUCT P IN MARKET MK AT END OF TIME PERIOD T

(TON PER YEAR)

/

*ETANOL

1.1.1 181960

1.2.1 81091

1.3.1 114146

1.4.1 95858

1.5.1 70515

1.1.2 121307

1.2.2 54061

1.3.2 76097

1.4.2 63905

1.5.2 47010

1.1.3 90980

1.2.3 40545

1.3.3 57073

1.4.3 47929

1.5.3 35257

1.1.4 75817

1.2.4 33788

1.3.4 47561

1.4.4 39941

1.5.4 29381

1.1.5 75817

1.2.5 33788

1.3.5 47561

1.4.5 39941

1.5.5 29381

1.1.6 60653

1.2.6 27030

1.3.6 38049

1.4.6 31953

1.5.6 23505

1.1.7 60653

1.2.7 27030

1.3.7 38049

1.4.7 31953

1.5.7 23505

1.1.8 75817

1.2.8 33788

1.3.8 47561

1.4.8 39941

1.5.8 29381

1.1.9 75817

1.2.9 33788

1.3.9 47561

1.4.9 39941

1.5.9 29381

1.1.10 90980

1.2.10 40545

1.3.10 57073

1.4.10 47929

1.5.10 35257

1.1.11 121307

1.2.11 54061

1.3.11 76097

1.4.11 63905

1.5.11 47010

1.1.12 181960

1.2.12 81091

1.3.12 114146

1.4.12 95858

1.5.12 70515

*BIODIESEL

3.1.1 51419

3.2.1 26963

3.3.1 40938

3.4.1 34578

3.5.1 25261

3.1.2 38564

3.2.2 20223

3.3.2 30703

3.4.2 25933

3.5.2 18946

3.1.3 19282

3.2.3 10111

3.3.3 15352

3.4.3 12967

3.5.3 9473

3.1.4 16068

3.2.4 8426

3.3.4 12793

3.4.4 10806

3.5.4 7894

3.1.5 16068

3.2.5 8426

3.3.5 12793

3.4.5 10806

3.5.5 7894

3.1.6 12855

3.2.6 6741

3.3.6 10234

3.4.6 8644

3.5.6 6315

3.1.7 12855

3.2.7 6741

3.3.7 10234

3.4.7 8644

3.5.7 6315

3.1.8 12855

3.2.8 6741

3.3.8 10234

3.4.8 8644

3.5.8 6315

3.1.9 16068

3.2.9 8426

3.3.9 12793

3.4.9 10806

3.5.9 7894

3.1.10 16068

3.2.10 8426

3.3.10 12793

3.4.10 10806

3.5.10 7894

3.1.11 19282

3.2.11 10111

3.3.11 15352

3.4.11 12967

3.5.11 9473

3.1.12 25709

3.2.12 13482

3.3.12 20469

3.4.12 17289

3.5.12 12631

/

*It should be noted, that the hydrogen demand is equal to zero because this product is

*not considered. This is a way to eliminate the hydrogen product.

*MAXIMUM STORAGE

USMH(M,H) MAXIMUM STORAGE OF RAW MATERIAL M IN HHARVESTING SITE H (TON PER YEAR)

/

*WOOD CHIPS

1.1 15251.57524

1.2 5102.094888

1.3 9932.407482
1.4 12639.6415
1.5 2338.386623
1.6 2338.386623

*COMERCIAL WOOD

6.1 5521.705077
6.2 1847.170722
6.3 3595.944939
6.4 4576.076343
6.5 846.5932917
6.6 846.5932917

*SUGAR CANE

7.1 2326938
7.2 9077004
7.3 8246499
7.4 0
7.5 18657780
7.6 1783479

*GRAIN CORN

9.1 9674331
9.2 1493706
9.3 7742739
9.4 3142761
9.5 3169314
9.6 2986530

*GRAIN SORGHUM

10.1 1184313
10.2 81648
10.3 2878887
10.4 157641
10.5 5681472

10.6 575853

*SWEET SORGHUM

13.1 1272264

13.2 14361

13.3 923955

13.4 1425714

13.5 49230

13.6 17799

*AFRICAN PALM

15.2 73551

15.5 18387

*JATROPHA

20.2 132450

20.3 132450

20.4 132450

*SAFFLOWER

21.1 123981

21.2 0

21.3 18903

21.4 270

21.5 29478

/

USMPH(M,PH) MAXIMUM STORAGE OF RAW MATERIAL IN PROCESSING SITE PH (TON PER YEAR)

/

*WOOD CHIPS

1.1*5 3812.89381

*COMERCIAL WOOD

6.1*5 1380.426269

*SUGAR CANE

7.1*5 4664445

*GRAIN CORN

9.1*5 2418582.75

*SWEET SORGHUM

13.1*5 356428.5

*GRAIN SORGHUM

10.1*5 1420368

*SAFFLOWER

21.1*5 30995.25

*AFRICAN PALM

15.1*5 18387.75

*JATROPHA

20.1*5 33112.5

/

USMP(M) MAXIMUM STORAGE AT MAIN (TON PER YEAR) ;

$USMP(M)=1.25*\text{SUM}((PH),USMPH(M,PH))/5;$

PARAMETERS

USKPH(K,PH) MAXIMUM STORAGE OF PRODUCT IN HUB (TON PER YEAR)

/

*ETANOL

1.1*5 45490

*BIODIESEL

3.1*5 12854.75

/

USKP(K) MAXIMUM STORAGE OF PRODUCT AT MAIN PLANT (TON PER YEAR)

/

*ETHANOL

1 56862.5

*BIODIESEL

3 16068.4375

/

USKMK(K,MK) MAXIMUM STORAGE OF PRODUCT IN MARKET (TON PER YEAR)

/

*ETHANOL

1.1 181960

1.2 81091

1.3 114146

1.4 95858

1.5 70515

*BIODIESEL

3.1 51419

3.2 26963

3.3 40938

3.4 34578

3.5 25261

/

*MINIMUM STORAGE

*Parameters can be defined at the end

LSMH(M,H) MINIMUM STORAGE OF RAW MATERIAL M IN HOME H (TON PER YEAR)

LSMPH(M,PH) MINIMUM STORAGE OF RAW MATERIAL M IN HUB (TON PER YEAR)

LSMP(M) MINIMUM STORAGE OF RAW MATERIAL M AT MAIN (TON PER YEAR)

LSKPH(K,PH) MINIMUM STORAGE OF PRODUCT K IN HUB (TON PER YEAR)

LSKP(K) MINIMUM STORAGE OF PRODUCT AT MAIN (TON PER YEAR)

LSKMK(K,MK) MINIMUM STORAGE OF PRODUCT IN MARKET (TON PER YEAR);

*Minimum storage is defined as 5 percent of maximum storage

$$\text{LSMH}(M,H)=0.05*\text{USMH}(M,H);$$

$$\text{LSMPH}(M,PH)=0.05*\text{USMPH}(M,PH);$$

$$\text{LSMP}(M)=0.05*\text{USMP}(M);$$

$$\text{LSKPH}(K,PH)=0.05*\text{USKPH}(K,PH);$$

$$\text{LSKP}(K)=0.05*\text{USKP}(K);$$

$$\text{LSKMK}(K,MK)=0.05*\text{USKMK}(K,MK);$$

PARAMETERS

*MAXIMUM TRANSPORTED AMOUNT

UTMHPH(M,H,PH) MAXIMUM TRANSPORT OF RAW MATERIAL M FROM HOME H TO PROCESSING HUB PH (TON PER YEAR)

/

$$1*21.1*6.1*5 \quad 1400000$$

/

UTMHP(M,H) FROM HOME H TO PRINCIPAL PLANT (TON PER YEAR)

/

$$1*21.1*6 \quad 1400000$$

/

UTKPHP1(M,PH) RAW MATERIAL FROM PROCESSING HUB PH TO PRINCIPAL PLANT (TON PER YEAR)

/

$$1*21.1*5 \quad 1400000$$

/

UTKPHP2(K,PH) PRODUCT FROM PROCESSING HUB PH TO PRINCIPAL PLANT (TON PER YEAR)

/

$$1.1*5 \quad 1400000$$

$$3.1*5 \quad 1400000$$

/

UTKPHMK(K,PH,MK) FROM PROCESSING HUB PH TO MARKET MK (TON PER YEAR)

/

1.1*5.1*5 1400000

3.1*5.1*5 1400000

/

UTKPMK(K,MK) FROM MAIN PLANT TO MARKET MK (TON PER YEAR)

/

1.1*5 1400000

3.1*5 1400000

/

*MINIMUM TRANSPORTED AMOUNT

LTMHPH(M,H,PH) MINIMUM TRANSPORT OF RAW MATERIAL M FROM HOME H TO PROCESSING HUB PH (TON PER YEAR)

/

1*21.1*6.1*5 140

/

LTMHP(M,H) FROM HOME H TO PRINCIPAL PLANT (TON PER YEAR)

/

1*21.1*6 140

/

LTKPHP1(M,PH) RAW MATERIAL FROM PROCESSING HUB PH TO PRINCIPAL PLANT (TON PER YEAR)

/

1*21.1*5 140

/

LTKPHP2(K,PH) PRODUCT FROM PROCESSING HUB PH TO PRINCIPAL PLANT (TON PER YEAR)

/

1.1*5 140

3.1*5 140

/

LTKPHMK(K,PH,MK) FROM PROCESSING HUB PH TO MARKET MK (TON PER YEAR)

/

1.1*5.1*5 140

3.1*5.1*5 140

/

LTKPMK(K,MK) FROM PRINCIPAL PLANT TO MARKET MK (TON PER YEAR)

/

1.1*5 140

3.1*5 140

/

*CONVERSION FACTORS

ALFA(K,M,R) CONVERSION FACTORS TO PRODUCT K FROM M BY R

*THE FACTORS ARE IN MASS RATIO

/

1.1.1 0.1669

1.1.2 0.2625

1.1.3 0.1887

1.2.1 0.2723

1.2.4 0.1314

2.3.5 2.6000

2.3.6 2.6200

2.4.7 22.8700

2.5.7 25.7000

2.5.8 5.3000

2.6.9 0.8700

1.7.1 0.0592

1.8.1 0.2857

1.9.1 0.3149

1.10.1 0.2999

1.11.1 0.2999

1.12.1 0.0868

1.13.1 0.0553

3.14.10 0.1763

3.15.10 0.2064

3.16.10 0.2950

3.17.10 0.3543

3.18.10 0.1668

3.19.10 0.3595

3.20.10 0.3268

3.21.10 0.2850

/

*MAXIMUM PROCESSING

UPMKRPH(M,K,R,PH) MAXIMUM PROCESSING OF RAW MATERIAL M TO PRODUCT K TROUGHT
ROUTE R IN PROCESSING HUB PH (TON PER YEAR)

/

1.1.1*3.1*5 7625.78762

7.1.1.1*5 9328890

9.1.1.1*5 4837165.5

10.1.1.1*5 2840736

13.1.1.1*5 712857

15.3.10.1*5 36775.5

20.3.10.1*5 66225

21.3.10.1*5 61990.5

/

UPMKRP(M,K,R) IN PRINCIPAL PLANT (TON PER YEAR) ;

UPMKRP(M,K,R)=1.25*SUM((PH),UPMKRPH(M,K,R,PH))/5;

PARAMETERS

*MINIMUM PROCESSING

LPMKRP(M,K,R,PH) MINIMUM PROCESSING OF RAW MATERIAL M TO PRODUCT K TROUGHT
ROUTE R IN PROCESSING HUB PH (TON PER YEAR)

LPMKRP(M,K,R) IN PRINCIPAL PLANT (TON PER YEAR) ;

LPMKRP(M,K,R,PH)=0.01*UPMKRPH(M,K,R,PH);

$$\text{LPMKRP}(M,K,R)=0.01*\text{UPMKRP}(M,K,R);$$

*In this case, the minimum processing amount is equal to 1 percent of the maximum processing amount

PARAMETERS

*COSTS MATERIAL

CMPROD(M,H,T) COST OF RAW MATERIAL PRODUCED IN HOME H AT END OF TIME PERIOD T (\$US PER TON)

/

1.1*6.1*12	86.60
2.1*6.1*12	38.85
3.1*6.1*12	367.8899

*THE PREVIOUS COST IS BASED AT THE END OF 2005

4.1*6.1*12	100
5.1*6.1*12	0
6.1*6.1*12	60.62
7.1*6.1*12	28.98
8.1*6.1*12	286.10
9.1*6.1*12	207.40
10.1*6.1*12	167.77
11.1*6.1*12	230.71
12.1*6.1*12	150.29
13.1*6.1*12	31.11
14.1*6.1*12	330.58
15.1*6.1*12	66.31
16.1*6.1*12	12.66
17.1*6.1*12	533.84
18.1*6.1*12	361.89
19.1*6.1*12	227.08
20.1*6.1*12	110.40

*THE PREVIOUS COST IS BASED AT THE END OF 2005

21.1*6.1*12	269.07
-------------	--------

/

CP(K,MK,T) COST OF PRODUCT K IN MARKET MK AT END OF TIME PERIOD T (\$US PER TON)

/

1.1*5.1*12	796.82
------------	--------

2.1*5.1*12 2470

3.1*5.1*12 841

/

*STORAGE COST FIXED

CSMH(M,H) COST FIXED FOR STORAGE OF RAW MATERIAL M IN HOME H (\$US)

/

/

CSMPH(M,PH) COST FIXED FOR STORAGE OF RAW MATERIAL M IN PROCESSING SITES (\$US)

/

/

CSMP(M) COST FIXED FOR STORAGE OF RAW MATERIAL M IN MAIN PROCESSING SITES (\$US)

/

/

CSKPH(K,PH) COST FIXED FOR STORAGE OF PRODUCTS IN PROCESSING SITES (\$US)

/

/

CSKP(K) COST FIXED FOR STORAGE OF PRODUCTS IN MAIN PROCESSING SITES (\$US)

/

/

CSKMK(K,MK) COST FIXED FOR STORAGE OF PRODUCTS IN MARKETS (\$US)

/

/

*STORAGE COST VARIABLES

CVSMH(M,H,T) COST VARIABLE FOR STORAGE OF RAW MATERIAL M IN HARVESTING SITE H (\$US PER TON)

/

1*21.1*6.1*12 5

/

CVSMPH(M,PH,T) COST VARIABLE FOR STORAGE OF RAW MATERIAL IN PROCESSING PLANTS (\$US PER TON)

/

1*21.1*5.1*12 20

/

CVSMP(M,T) COST VARIABLE FOR STORAGE OF RAW MATERIAL IN MAIN PROCESSING PLANT (\$US PER TON)

/

1*21.1*12 15

/

CVSKPH(K,PH,T) COST VARIABLE FOR STORAGE OF PRODUCTS IN PROCESSING PLANTS (\$US PER TON)

/

1*3.1*5.1*12 15

/

CVSKP(K,T) COST VARIABLE FOR STORAGE OF PRODUCTS IN MAIN PROCESSING PLANT (\$US PER TON)

/

1*3.1*12 10

/

CVSKMK(K,MK,T) COST VARIABLE FOR STORAGE OF PRODUCTS IN CONSUMPTION REGIONS (\$US PER TON)

/

1*3.1*5.1*12 5

/

*TRANSPORT COST

CTMHPH(M,H,PH,T) COST TRANSPORT OF RAW MATERIAL M FROM HARVESTING SITES H TO PROCESSING HUB PH (\$US PER TON)

/

1*21.1.1.1*12 157.6844771

1*21.2.1.1*12 118.3125

1*21.3.1.1*12 17.3443785

1*21.4.1.1*12 67.03684297

1*21.5.1.1*12 13.38984017

1*21.6.1.1*12 23.80673391

1*21.1.2.1*12 141.6334461

1*21.2.2.1*12 158.3906223

1*21.3.2.1*12 56.27188474

1*21.4.2.1*12 27.42572807

1*21.5.2.1*12 34.06774986

1*21.6.2.1*12 63.88485619

1*21.1.3.1*12 176.2182845

1*21.2.3.1*12 113.0840206

1*21.3.3.1*12 49.37382271

1*21.4.3.1*12 62.63658178

1*21.5.3.1*12 27.17031385

1*21.6.3.1*12 38.53812476

1*21.1.4.1*12 212.0939664

1*21.2.4.1*12 64.7556434

1*21.3.4.1*12 71.30313689

1*21.4.4.1*12 116.4281941

1*21.5.4.1*12 60.8968854

1*21.6.4.1*12 37.38813475

1*21.1.5.1*12 224.390158

1*21.2.5.1*12 83.88040926

1*21.3.5.1*12 85.23197618

1*21.4.5.1*12 128.4727275

1*21.5.5.1*12 74.8257247

1*21.6.5.1*12 51.31697404

/

CTMHP(M,H,T) RAW MATERIAL FROM HARVESTING SITES H TO PRINCIPAL PLANT (\$US PER TON)

/

1*21.1.1*12 171.6871862

1*21.2.1*12 104.3993111

1*21.3.1*12 31.34646158

1*21.4.1*12 11.98568796

1*21.5.1*12 20.94021009

1*21.6.1*12 10.95777092

/

CTMPHP(M,PH,T) RAW MATERIAL FROM HUB PH TO PRINCIPAL PLANT (\$US PER TON)

/

1*21.1.1*12 14.16359501
1*21.2.1*12 54.61732644
1*21.3.1*12 33.25518207
1*21.4.1*12 40.20708141
1*21.5.1*12 54.51152986

/

CTKPHP(K,PH,T) PRODUCT FROM PROCESSING HUB PH TO PRINCIPAL PLANT (\$US PER TON)

/

1.1.1*12 1.90607E-11
1.2.1*12 7.35015E-11
1.3.1*12 4.47533E-11
1.4.1*12 5.41088E-11
1.5.1*12 7.33591E-11

3.1.1*12 1.90607E-11
3.2.1*12 7.35015E-11
3.3.1*12 4.47533E-11
3.4.1*12 5.41088E-11
3.5.1*12 7.33591E-11

/

CTKPHMK(K,PH,MK,T) PRODUCT FROM PROCESSING HUB PH TO MARKET MK (\$US PER TON)

/

*ETHANOL

1.1.1.1*12 3.2038E-11
1.1.2.1*12 2.16718E-08
1.1.3.1*12 2.33413E-11
1.1.4.1*12 7.76668E-08
1.1.5.1*12 1.5922E-10

1.2.1.1*12 3.14662E-08
1.2.2.1*12 2.1904E-12
1.2.3.1*12 2.77165E-08
1.2.4.1*12 6.9761E-08
1.2.5.1*12 2.13155E-10

1.3.1.1*12	1.89818E-08
1.3.2.1*12	5.06707E-11
1.3.3.1*12	2.43189E-08
1.3.4.1*12	8.67956E-08
1.3.5.1*12	1.52183E-10
1.4.1.1*12	5.03152E-11
1.4.2.1*12	1.23145E-10
1.4.3.1*12	9.59565E-11
1.4.4.1*12	1.04244E-07
1.4.5.1*12	8.71452E-11
1.5.1.1*12	6.906E-11
1.5.2.1*12	1.4189E-10
1.5.3.1*12	5.19761E-10
1.5.4.1*12	1.0002E-09
1.5.5.1*12	1.12882E-10
*BIODIESEL	
3.1.1.1*12	3.2038E-11
3.1.2.1*12	2.16718E-08
3.1.3.1*12	2.33413E-11
3.1.4.1*12	7.76668E-08
3.1.5.1*12	1.5922E-10
3.2.1.1*12	3.14662E-08
3.2.2.1*12	2.1904E-12
3.2.3.1*12	2.77165E-08
3.2.4.1*12	6.9761E-08
3.2.5.1*12	2.13155E-10
3.3.1.1*12	1.89818E-08
3.3.2.1*12	5.06707E-11
3.3.3.1*12	2.43189E-08
3.3.4.1*12	8.67956E-08

3.3.5.1*12 1.52183E-10

3.4.1.1*12 5.03152E-11

3.4.2.1*12 1.23145E-10

3.4.3.1*12 9.59565E-11

3.4.4.1*12 1.04244E-07

3.4.5.1*12 8.71452E-11

3.5.1.1*12 6.906E-11

3.5.2.1*12 1.4189E-10

3.5.3.1*12 5.19761E-10

3.5.4.1*12 1.0002E-09

3.5.5.1*12 1.12882E-10

/

CTKPMK(K,MK,T) PRODUCT FROM PRINCIPAL PLANT TO MARKET MK (\$US PER TON)

/

*ETHANOL

1.1.1*12 1.49921E-11

1.2.1*12 2.82055E-08

1.3.1*12 4.48444E-11

1.4.1*12 7.86528E-08

1.5.1*12 8.81986E-11

*BIODIESEL

3.1.1*12 1.49921E-11

3.2.1*12 2.82055E-08

3.3.1*12 4.48444E-11

3.4.1*12 7.86528E-08

3.5.1*12 8.81986E-11

/

*PROCESSING COST

CPMKRPH(M,K,R,PH,T) COST PROCESSING OF RAW MATERIAL M TO PRODUCT K THROUGH ROUTE R
IN PROCESSING HUB PH (\$US PER TON)

/

1.1.1*3.1*5.1*12	100
2.1.1.1*5.1*12	49.777
7.1.1.1*5.1*12	39.52
8.1.1.1*5.1*12	65.884
9.1.1.1*5.1*12	72.618
10.1.1.1*5.1*12	56.916
11.1.1.1*5.1*12	114.66
12.1.1.1*5.1*12	35.75
13.1.1.1*5.1*12	20.93
14.3.10.1*5.1*12	61.126
15.3.10.1*5.1*12	71.565
16.3.10.1*5.1*12	102.271
17.3.10.1*5.1*12	122.85
18.3.10.1*5.1*12	57.85
19.3.10.1*5.1*12	124.631
20.3.10.1*5.1*12	113.308
21.3.10.1*5.1*12	98.813

/

CPMKRP(M,K,R,T) COST PROCESSING OF RAW MATERIAL M TO PRODUCT K THROUGH ROUTE R IN
MAIN PROCESSING PLANT (\$US PER TON)

/

1.1.1*3.1*12	80
2.1.1.1*12	38.29
7.1.1.1*12	30.40
8.1.1.1*12	50.68
9.1.1.1*12	55.86
10.1.1.1*12	53.20
11.1.1.1*12	88.20
12.1.1.1*12	27.50
13.1.1.1*12	16.10
14.3.10.1*12	47.02
15.3.10.1*12	55.05
16.3.10.1*12	78.67
17.3.10.1*12	94.50
18.3.10.1*12	44.50

19.3.10.1*12 95.87

20.3.10.1*12 87.16

21.3.10.1*12 76.01

/

*ECO INDICATOR MATERIAL

EIMPROD(M) ECOINDICATOR OF RAW MATERIAL (ECO-POINTS PER TON)

/

1 211.12

2 146.09

3 0.00

4 0.00

5 211.12

6 169.32

7 12.14

8 146.09

9 199.78

10 250.56

11 62.47

12 48.33

13 41.84

14 444.06

15 14.61

16 2.04

17 631.69

18 245.08

19 404.00

20 14.61

21 614.38

/

EIP(K) ECOINDICATOR OF PRODUCT K (ECO-POINTS PER TON)

/

1 32.13

2 0.00

3 10.15

/

*ECO INDICATOR FOR TRANSPORTATION

EITMHPH(M,H,PH) ECOINDICATOR FOR TRANSPORTATION OF RAW MATERIAL M FROM
HARVESTING SITES H TO PROCESSING HUB PH (ECO-POINTS PER TON)

/

1*21.1.1 2.065301474

1*21.2.1 1.549619755

1*21.3.1 0.227171191

1*21.4.1 0.878027395

1*21.5.1 0.175375897

1*21.6.1 0.311813081

1*21.1.2 1.85507014

1*21.2.2 2.074550341

1*21.3.2 0.737031372

1*21.4.2 0.359213524

1*21.5.2 0.446208627

1*21.6.2 0.836743668

1*21.1.3 2.30805143

1*21.2.3 1.481138783

1*21.3.3 0.646682735

1*21.4.3 0.820394164

1*21.5.3 0.355868189

1*21.6.3 0.504760185

1*21.1.4 2.77793978

1*21.2.4 0.848148963

1*21.3.4 0.933905965

1*21.4.4 1.524939711

1*21.5.4 0.79760817

1*21.6.4 0.489697979

1*21.1.5 2.938991413

1*21.2.5 1.098639106
1*21.3.5 1.116341503
1*21.4.5 1.682695205
1*21.5.5 0.980043707
1*21.6.5 0.672133517

/

EITMHP(M,H) ECOINDICATOR FOR TRANSPORTATION OF RAW MATERIAL M FROM HARVESTING
SITES H TO MAIN PROCESSING PLANT (ECO-POINTS PER TON)

/

1*21.1 2.248704535
1*21.2 1.367389201
1*21.3 0.410566053
1*21.4 0.156984755
1*21.5 0.274268258
1*21.6 0.143521422

/

EITMPHP(M,PH) ECOINDICATOR FOR TRANSPORTATION OF RAW MATERIAL M PROCESSING SITES
PH TO MAIN PROCESSING PLANT (ECO-POINTS PER TON)

/

1*21.1 0.185510294
1*21.2 0.71536049
1*21.3 0.435565871
1*21.4 0.526619652
1*21.5 0.7139748

/

EITKPHP(K,PH) ECOINDICATOR FOR TRANSPORTATION OF PRODUCTS FROM PROCESSING SITES PH
TO MAIN PROCESSING PLANT (ECO-POINTS PER TON)

/

1*3.1 0.185510294
1*3.2 0.71536049
1*3.3 0.435565871
1*3.4 0.526619652
1*3.5 0.7139748

/

EITKPHMK(K,PH,MK) ECOINDICATOR FOR TRANSPORTATION OF PRODUCTS FROM PROCESSING HUB
PH TO MARKETS MK (ECO-POINTS PER TON)

/

1*3.1.1 0.311813081

1*3.2.1 0.576291315

1*3.3.1 0.227171191

1*3.4.1 2.065301474

1*3.5.1 1.549619755

1*3.1.2 0.836743668

1*3.2.2 0.02131831

1*3.3.2 0.737031372

1*3.4.2 1.85507014

1*3.5.2 2.074550341

1*3.1.3 0.504760185

1*3.2.3 0.493158105

1*3.3.3 0.646682735

1*3.4.3 2.30805143

1*3.5.3 1.481138783

1*3.1.4 0.489697979

1*3.2.4 1.198523588

1*3.3.4 0.933905965

1*3.4.4 2.772036248

1*3.5.4 0.848148963

1*3.1.5 0.672133517

1*3.2.5 1.380959125

1*3.3.5 1.116341503

1*3.4.5 2.1482297

1*3.5.5 1.098639106

/

EITKPMK(K,MK) ECOINDICATOR FOR TRANSPORTATION OF PRODUCTS FROM PRINCIPAL PLANT TO
MARKETS MK (ECO-POINTS PER TON)

/

1*3.1 0.145912119

1*3.2 0.750035541

1*3.3 0.436452572

1*3.4 2.091520946

1*3.5 0.858401431

/

*ECO INDICATOR PROCESSING

EIPMKRPH(M,K,R,PH) ECOINDICATOR FOR PROCESSING OF RAW MATERIAL M TO PRODUCT K
TROUGHT ROUTE R IN PROCESSING HUB PH

/

7.1.1.1*5 1.84

9.1.1.1*5 17.16

8.1.1.1*5 13.10

2.1.1.1*5 11.84

11.1.1.1*5 42.05

12.1.1.1*5 2.75

13.1.1.1*5 5.85

10.1.1.1*5 5.85

1.1.1.1*5 39.31

1.1.2.1*5 9.90

1.1.3.1*5 10.39

2.1.4.1*5 0.70

14.3.10.1*5 9.02

15.3.10.1*5 10.56

16.3.10.1*5 15.09

17.3.10.1*5 18.13

18.3.10.1*5 8.54

19.3.10.1*5 18.39

20.3.10.1*5 16.72

21.3.10.1*5 14.58

/

EIPMKRP(M,K,R) ECOINDICATOR FOR PROCESSING OF RAW MATERIAL M TO PRODUCT K
TROUGHT ROUTE R IN PRINCIPAL PLANT

/
7.1.1 1.84
9.1.1 17.16
8.1.1 13.10
2.1.1 11.84
11.1.1 42.05
12.1.1 2.75
13.1.1 5.85
10.1.1 5.85
1.1.1 39.31
1.1.2 9.90
1.1.3 10.39
2.1.4 0.70
14.3.10 9.02
15.3.10 10.56
16.3.10 15.09
17.3.10 18.13
18.3.10 8.54
19.3.10 18.39
20.3.10 16.72
21.3.10 14.58

/

*TIME INTEGER OF ACTIVITIES

TT1(H,PH) CONSUMED TIME FOR TRANSPORT FROM HOME H TO HUB PH

/

1*6.1*5 1

/

TT2(H) CONSUMED TIME FOR TRANSPORT FROM HOME H TO MAIN HUB

/

1*6 1

/

TT3(PH) CONSUMED TIME FOR TRANSPORT FROM HUB PH TO MAIN HUB

/

1*5 1

/

TT4(PH,MK) CONSUMED TIME FOR TRANSPORT FROM HUB PH TO MARKET MK
 /
 1*5.1*5 1
 /
 TT5(MK) CONSUMED TIME FOR TRANSPORT FROM MAIN HUB TO MARKET MK
 /
 1*5 1
 /
 TT6(M,K,R) CONSUMED TIME FOR PROCESSING OF RAW MATERIAL M TO PRODUCT K BY ROUTE
 R
 /
 1*21.1*3.1*10 1
 /

 *JOBS FOR SUPPLY CHAIN
 JOBS1(M,H) GENERATED JOBS FOR RAW MATERIAL PRODUCTION
 /
 *WOOD CHIPS
 1.1*6 0.00029925
 *COMMERCIAL WOOD
 6.1*6 0.00029925
 *SUGAR CANE
 7.1*6 0.007665185
 *CORN
 9.1*6 0.0000063356
 *SORGHUM
 10.1*6 1.90E-07
 *SWEET SORGHUM
 13.1*6 1.90E-07
 *AFRICAN PALM
 15.1*6 0.00029925
 *JATROPHA
 20.1*6 0.00029925
 *SAFFLOWER
 21.1*6 1.90E-07

/

JOBS2(H,PH) GENERATED JOBS FOR RAW MATERIAL TRANSPORTATION TO PROCESSING PLANTS

/

1*6.1*5 5.8708E-4

/

JOBS22(H) GENERATED JOBS FOR RAW MATERIAL TRANSPORTATION TO MAIN PROCESSING PLANT FROM HARVESTING SITES

/

1*6 5.8708E-4

/

JOBS23(PH) GENERATED JOBS FOR RAW MATERIAL TRANSPORTATION TO MAIN PROCESSING PLANT FROM OTHER PROCESSING PLANTS

/

1*5 5.8708E-4

/

JOBS3(K,M,R) GENERATED JOBS FOR RAW MATERIAL PROCESSING

/

1.1*7.1 0.000592774

1.10*13.1 0.000592774

1.9.1 6.41E-06

3.14*21.10 1.19E-03

/

PENALTY(K) PENALTY FOR UNMET DEMAND (IT SHOULD BE MENTIONED THAT THIS VALUE MAY BE MODIFIED IF A PENALTY IS CONSIDERED)

/

1 0.0

3 0.0

/;

POSITIVE VARIABLES

*ALL ACUMULATIONS AT THE BEGAN THE HORIZON OF TIME (DECEMBER LAST YEAR)

MHOME0(M,H) INITIAL RAW MATERIAL STORAGE IN HARVESTING SITES,

MHUB0(M,PH) INITIAL RAW MATERIAL STORAGE IN PROCESSING SITES,
MMAIN0(M) INITIAL RAW MATERIAL STORAGE IN MAIN PROCESSING PLANT,
PHUB0(K,PH) INITIAL PRODUCT STORAGE IN PROCESSING SITES,
PMAIN0(K) INITIAL PRODUCT STORAGE IN MAIN PROCESSING PLANT,
PMARKET0(K,MK) INITIAL PRODUCT STORAGE IN CONSUMPTION REGIONS,

*REAL STORAGE

ALMACEN(M,H) REAL STORAGE AT THE BEGINNING OF THE HORIZON OF TIME,

*ALL STORAGE FOR (OUT<=IN)

*RAW MATERIAL

MPROD(M,H,T) PRODUCTION OF RAW MATERIAL IN HOME H AT END OF TIME PERIOD T,
MHOME(M,H,T) STORED RAW MATERIAL M IN HOME H AT END OF TIME PERIOD T,
MHUB(M,PH,T) STORED RAW MATERIAL M IN HUB PH AT END OF TIME PERIOD T,
MMAIN(M,T) STORED RAW MATERIAL M IN MAIN HUB AT END OF TIME PERIOD T,

*PRODUCT

PHUB(K,PH,T) STORED PRODUCT K IN HUB PH AT END OF TIME PERIOD T,
PMAIN(K,T) STORED PRODUCT K IN MAIN HUB PH AT END OF TIME PERIOD T,
PMARKET(K,MK,T) STORED PRODUCT K IN MARKET MK AT END OF TIME PERIOD T,

*ALL FLOWS

*RAW MATERIAL IN HOME

MHOMEHUB(M,H,PH,T) DISTRIBUTED RAW MATERIAL M FROM HOME H TO HUB PH (OUT),
MHOMEMAIN(M,H,T) DISTRIBUTED RAW MATERIAL M FROM HOME H TO MAIN HUB (OUT),

*RAW MATERIAL IN HUB

MEHOMEHUB(M,H,PH,T) DISTRIBUTED RAW MATERIAL M FROM HOME H TO HUB PH (IN),
MHUBMAIN(M,PH,T) DISTRIBUTED RAW MATERIAL M FROM HUB PH TO MAIN HUB (OUT),
MHUBPROC(M,K,R,PH,T) RAW MATERIAL M FROM HUB PH TO PROCESSING (OUT),

*RAW MATERIAL IN MAIN HUB

MEHOMEMAIN(M,H,T) DISTRIBUTED RAW MATERIAL M FROM HOME H TO MAIN HUB (IN),
MEHUBMAIN(M,PH,T) DISTRIBUTED RAW MATERIAL M FROM HUB PH TO MAIN HUB (IN),
MMAINPROC(M,K,R,T) RAW MATERIAL M FROM MAIN HUB TO PROCESSING (OUT),

*PRODUCT IN HUB

PHUBMARKET(K,PH,MK,T) DISTRIBUTED PRODUCT K FROM HUB PH TO MARKET MK (OUT),
PHUBMAIN(K,PH,T) DISTRIBUTED PRODUCT K FROM HUB PH TO MAIN HUB (OUT),
PHUBPROC(M,K,R,PH,T) PRODUCED PRODUCT K FROM PROCESSING TO HUB PH (IN),

*PRODUCT IN MAIN HUB

PMAINMARKET(K,MK,T) DISTRIBUTED PRODUCT K FROM MAIN HUB TO MARKET MK (OUT),
PEHUBMAIN(K,PH,T) DISTRIBUTED PRODUCT K FROM HUB PH TO MAIN HUB (IN),
PMAINPROC(M,K,R,T) PRODUCED PRODUCT K FROM PROCESSING TO MAIN HUB (IN),

*PRODUCT IN MARKET

PEHUBMARKET(K,PH,MK,T) DISTRIBUTED PRODUCT K FROM HUB PH TO MARKET MK (IN),
PEMAINMARKET(K,MK,T) DISTRIBUTED PRODUCT K FROM MAIN HUB TO MARKET MK (IN),
PSALE(K,MK,T) SOLD PRODUCT K SALE IN MARKET MK (OUT);

BINARY VARIABLES

*TRANSPORT

YTHOMEHUB(M,H,PH,T) DEFINE IF IS NECESSARY THE TRANSPORT FROM HOME H TO HUB PH,
YTHOMEMAIN(M,H,T) DEFINE IF IS NECESSARY THE TRANSPORT FROM HOME H TO MAIN HUB,
YTHUBMAIN1(M,PH,T) DEFINE IF IS NECESSARY THE TRANSPORT OF RAW MATERIAL FROM HUB PH TO
MAIN HUB,
YTHUBMAIN2(K,PH,T) DEFINE IF IS NECESSARY THE TRANSPORT OF RAW PRODUCT FROM HUB PH TO
MAIN HUB,
YTHUBMARKET(K,PH,MK,T) DEFINE IF IS NECESSARY THE TRANSPORT FROM HUB PH TO MARKET MK,
YTMAINMARKET(K,MK,T) DEFINE IF IS NECESSARY THE TRANSPORT FROM MAIN HUB TO MARKET MK,

*PROCESSING

YPHUB(M,K,R,PH,T) DEFINE IF IS NECESSARY THE PROCESSING IN HUB PH,
YPMAIN(M,K,R,T) DEFINE IF IS NECESSARY THE PROCESSING IN MAIN HUB PH,

*STORAGE NECESARY

YSMHOME1(M,H) DEFINE IF IS NECESSARY THE STORAGE OF RAW MATERIAL IN HOME H,
YSMHUB1(M,PH) DEFINE IF IS NECESSARY THE STORAGE OF RAW MATERIAL IN HUB PH,
YSMMAIN1(M) DEFINE IF IS NECESSARY THE STORAGE OF RAW MATERIAL IN MAIN HUB,
YSPHUB1(K,PH) DEFINE IF IS NECESSARY THE STORAGE OF PRODUCT IN HUB PH,

YSPMAIN1(K) DEFINE IF IS NECESSARY THE STORAGE OF PRODUCT IN MAIN HUB,
YSPMARKET1(K,MK) DEFINE IF IS NECESSARY THE STORAGE OF PRODUCT IN MARKET MK,

*STORAGE AT TIME ZERO

YSH0(M,H) DEFINE IF IS NECESSARY STORAGE OF RAW MATERIAL AT TIME ZERO,
YSPH0(M,PH) DEFINE IF IS NECESSARY STORAGE OF RAW MATERIAL AT TIME ZERO,
YSP0(M) DEFINE IF IS NECESSARY STORAGE OF RAW MATERIAL AT TIME ZERO,
YSPH01(K,PH) DEFINE IF IS NECESSARY STORAGE OF RAW MATERIAL AT TIME ZERO,
YSP01(K) DEFINE IF IS NECESSARY STORAGE OF RAW MATERIAL AT TIME ZERO,
YSMK0(K,MK) DEFINE IF IS NECESSARY STORAGE OF RAW MATERIAL AT TIME ZERO,

*STORAGE AT TIME T

YSMHOME2(M,H,T) DEFINE IF IS NECESSARY THE STORAGE OF RAW MATERIAL IN HOME H AT TIME T,
YSMHUB2(M,PH,T) DEFINE IF IS NECESSARY THE STORAGE OF RAW MATERIAL IN HUB PH AT TIME T,
YSMMAIN2(M,T) DEFINE IF IS NECESSARY THE STORAGE OF RAW MATERIAL IN MAIN HUB AT TIME T,
YSPHUB2(K,PH,T) DEFINE IF IS NECESSARY THE STORAGE OF PRODUCT IN HUB PH AT TIME T,
YSPMAIN2(K,T) DEFINE IF IS NECESSARY THE STORAGE OF PRODUCT IN MAIN HUB AT TIME T,
YSPMARKET2(K,MK,T) DEFINE IF IS NECESSARY THE STORAGE OF PRODUCT IN MARKET MK AT TIME T,

*STORAGE COST TOTAL

CTSMH(M,H) COST TOTAL OF STORAGE OF RAW MATERIAL M IN HOME H,
CTSMPH(M,PH) COST TOTAL OF STORAGE OF RAW MATERIAL M IN HUB PH,
CTSMMP(M) COST TOTAL OF STORAGE OF RAW MATERIAL M IN MAIN HUB,
CTSKPH(K,PH) COST TOTAL OF STORAGE OF PRODUCT K IN HUB PH,
CTSKP(K) COST TOTAL OF STORAGE OF PRODUCT K IN MAIN HUB,
CTSKMK(K,MK) COST TOTAL OF STORAGE OF PRODUCT K IN MARKET MK;

VARIABLES

*OBJECTIVE VARIABLES

PROFIT NET ANNUAL PROFIT,
PROFITMR NET ANNUAL PROFIT FOR MAIN PROCESSING PLANT,
PROFITHUB NET ANNUAL PROFIT FOR HUBS,
PROFITHV NET ANNUAL PROFIT FOR HARVESTING SITES,
SI SOCIAL IMPACT (GENERATED JOBS),
EI ENVIRONMENTAL IMPACT (MEASURED THROUGH ECOINDICATOR99 METHODOLOGY),

TOTALPR JUSTICE SYSTEM;

SCALAR

CONTADORSOCIAL ITER FOR SOCIAL IMPACT,

MAXEI MAXIMUM ENVIRONEMENTAL IMPACT,

CONTEI ITER FOR ENVIRONMENTAL IMPACT;

EQUATIONS

*INITIAL STORAGE

ALMH0 FOR MAXIMUM INITIAL STORAGE,

ALMH0M FOR MINIMAL INITIAL STORAGE,

ALMH01 FOR MAXIMUM INITIAL STORAGE,

ALMH01M FOR MINIMAL INITIAL STORAGE,

ALMH02 FOR MAXIMUM INITIAL STORAGE,

ALMH02M FOR MINIMAL INITIAL STORAGE,

ALMH03 FOR MAXIMUM INITIAL STORAGE,

ALMH03M FOR MINIMAL INITIAL STORAGE,

ALMH04 FOR MAXIMUM INITIAL STORAGE,

ALMH04M FOR MINIMAL INITIAL STORAGE,

ALMH05 FOR MAXIMUM INITIAL STORAGE,

ALMH05M FOR MINIMAL INITIAL STORAGE,

ALMH06 FOR REAL STORAGE AT THE BEGINING,

ALMAFIN STORAGE AT THE END,

ALMAFIN1 STORAGE AT THE END,

ALMAFIN2 STORAGE AT THE END,

ALMAFIN3 STORAGE AT THE END,

ALMAFIN4 STORAGE AT THE END,

ALMAFIN5 STORAGE AT THE END,

*PRODUCTION OF RAW MATERIAL

MAXPROD LIMITS FOR RAW MATERIAL PRODUCTION,

*BALANCES OF MATERIAL

BMHOME BALANCE OF RAW MATERIAL M IN HOME H,
BMHOME2 BALANCE OF RAW MATERIAL M IN HOME H,
BMHUB BALANCE OF RAW MATERIAL M IN HUB PH,
BMHUB2 BALANCE OF RAW MATERIAL M IN HUB PH,
BMMAIN BALANCE OF RAW MATERIAL M IN MAIN HUB,
BMMAIN2 BALANCE OF RAW MATERIAL M IN MAIN HUB,
BPHUB BALANCE OF PRODUCT K IN HUB PH,
BPHUB2 BALANCE OF PRODUCT K IN HUB PH,
BPMAIN BALANCE OF PRODUCT K IN MAIN HUB,
BPMAIN2 BALANCE OF PRODUCT K IN MAIN HUB,
BPMARKET BALANCE OF PRODUCT K IN MARKET MK,
BPMARKET2 BALANCE OF PRODUCT K IN MARKET MK,

*MAXIMUM SALE

USALE DEFINE THE MAXIMUM SALE OF PRODUCT,

*CONSTRAINT FOR TRANSPORT (IN = OUT)

CONSTHOMEHUB CONSTRAINT FOR TRANSPORT OF RAW MATERIAL FROM HOME H TO HUB PH,

CONSTHOMEMAIN CONSTRAINT FOR TRANSPORT OF RAW MATERIAL FROM HOME H TO MAIN HUB,

CONSTHUBMAIN1 CONSTRAINT FOR TRANSPORT OF RAW MATERIAL FROM HUB PH TO MAIN HUB,

CONSTHUBMAIN2 CONSTRAINT FOR TRANSPORT OF PRODUCT FROM HUB PH TO MAIN HUB,

CONSTHUBMARKET CONSTRAINT FOR TRANSPORT OF PRODUCT FROM HUB PH TO MARKET MK,

CONSTMAINMARKET CONSTRAINT FOR TRANSPORT OF PRODUCT FROM MAIN HUB TO MARKET MK,

*TRANSPORT LIMITS

UTHOMEHUB MAXIMUM TRANSPORT FROM HOME H TO HUB PH,

LTHOMEHUB MINIMUM TRANSPORT FROM HOME H TO HUB PH,

UTHOMEMAIN MAXIMUM TRANSPORT FROM HOME H TO MAIN HUB,

LTHOMEMAIN MINIMUM TRANSPORT FROM HOME H TO MAIN HUB,

UTHUBMAIN1 MAXIMUM TRANSPORT OF RAW MATERIAL FROM HUB PH TO MAIN HUB,

LTHUBMAIN1 MINIMUM TRANSPORT OF RAW MATERIAL FROM HUB PH TO MAIN HUB,
UTHUBMAIN2 MAXIMUM TRANSPORT OF PRODUCT FROM HUB PH TO MAIN HUB,
LTHUBMAIN2 MINIMUM TRANSPORT OF PRODUCT FROM HUB PH TO MAIN HUB,
UTHUBMARKET MAXIMUM TRANSPORT FROM HUB PH TO MARKET MK,
LTHUBMARKET MAXIMUM TRANSPORT FROM HUB PH TO MARKET MK,
UTMAINMARKET MAXIMUM TRANSPORT FROM MAIN HUB TO MARKET MK,
LTMAINMARKET MAXIMUM TRANSPORT FROM MAIN HUB TO MARKET MK,

*PROCESSING

CONVMP12 PROCESSING EQUATION IN PROCESSING HUBS
UCONVMP1 MAXIMUM PROCESSING PERMISSIBLE IN HUB PH,
LCONVMP1 MINIMUM PROCESSING PERMISSIBLE IN HUB PH,

CONVMP22 PROCESSING EQUATION IN MAIN HUB,
UCONVMP2 MAXIMUM PROCESSING PERMISSIBLE IN MAIN HUB,
LCONVMP2 MINIMUM PROCESSING PERMISSIBLE IN MAIN HUB,

*STORAGE COST

CSMHOME STORAGE COST OF RAW MATERIAL M IN HOME H,
CSMHUB STORAGE COST OF RAW MATERIAL M IN HUB PH,
CSMMAIN STORAGE COST OF RAW MATERIAL M IN MAIN HUB,
CSPHUB STORAGE COST OF PRODUCT K IN HUB PH,
CSPMAIN STORAGE COST OF PRODUCT K IN MAIN HUB,
CSPMARKET STORAGE COST OF PRODUCT K IN MARKET MK,

*STORAGE LIMITS

USMHOME MAXIMUM STORAGE OF RAW MATERIAL M IN HOME H,
LSMHOME MINIMUM STORAGE OF RAW MATERIAL M IN HOME H,
USMHUB MAXIMUM STORAGE OF RAW MATERIAL M IN HUB PH,
LSMHUB MINIMUM STORAGE OF RAW MATERIAL M IN HUB PH,
USMMAIN MAXIMUM STORAGE OF RAW MATERIAL M IN MAIN HUB,
LSMMAIN MINIMUM STORAGE OF RAW MATERIAL M IN MAIN HUB,
USPHUB MAXIMUM STORAGE OF PRODUCT K IN HUB PH,
LSPHUB MINIMUM STORAGE OF PRODUCT K IN HUB PH,

USPMAIN	MAXIMUM STORAGE OF PRODUCT K IN MAIN HUB,
LSPMAIN	MINIMUM STORAGE OF PRODUCT K IN MAIN HUB,
USPMARKET	MAXIMUM STORAGE OF PRODUCT K IN MARKET MK,
LSPMARKET	MINIMUM STORAGE OF PRODUCT K IN MARKET MK

'

*RELATIONSHIP FOR BINARY VARIABLES

- R1 1 RELATION FOR BINARY VARIABLES,
- R2 2 RELATION FOR BINARY VARIABLES,
- R3 3 RELATION FOR BINARY VARIABLES,
- R4 4 RELATION FOR BINARY VARIABLES,
- R5 5 RELATION FOR BINARY VARIABLES,
- R6 6 RELATION FOR BINARY VARIABLES,
- R7 7 RELATION FOR BINARY VARIABLES,
- R8 8 RELATION FOR BINARY VARIABLES,
- R9 9 RELATION FOR BINARY VARIABLES,
- R10 10 RELATION FOR BINARY VARIABLES,
- R11 11 RELATION FOR BINARY VARIABLES,
- R12 12 RELATION FOR BINARY VARIABLES,

*OBJECTIVE FUNCTIONS

- OBJ1 OBJECTIVE FUNTION,
- OBJ2 ENVIRONMENT IMPACT,
- OBJ3 SOCIAL IMPACT,
- OBJ4 OBJECTIVE FUNTION FOR MAIN REFINERY,
- OBJ5 OBJECTIVE FUNTION FOR BUBS,
- OBJ6 OBJECTIVE FUNTION FOR HARVESTING SITES,
- OBJ7 OBJECTIVE FUNTION FOR JUSTICE SYSTEM,

*ADITIONAL EQUATIONS

- ADIT ADDITIONAL EQUATION TO CONSIDER BOUNDS FOR OBJECTIVES (THIS CASE ENVIRONMENTAL PROFIT),
- ADIT2 ADDITIONAL EQUATION TO CONSIDER BOUNDS FOR OBJECTIVES (THIS CASE NET PROFIT)

ECN(K,MK,T);

*PROPOSED EQUATIONS ARE DEVELOPED

*STORAGE IN EACH CONSIDERED SITE

*RAW MATERIAL IN HARVESTING SITES

ALMH0(M,H).. MHOME0(M,H)=L=USMH(M,H)*YSH0(M,H);

ALMH0M(M,H).. MHOME0(M,H)=G=LSMH(M,H)*YSH0(M,H);

*RAW MATERIAL IN PROCESSING PLANTS

ALMH01(M,PH).. MHUB0(M,PH)=L=USMPH(M,PH)*YSPH0(M,PH);

ALMH01M(M,PH).. MHUB0(M,PH)=G=LSMPH(M,PH)*YSPH0(M,PH);

*RAW MATERIAL IN THE MAIN PROCESSING PLANT

ALMH02(M).. MMAIN0(M)=L=USMP(M)*YSPO(M);

ALMH02M(M).. MMAIN0(M)=G=LSMP(M)*YSPO(M);

*PRODUCT IN PROCESSING PLANTS

ALMH03(K,PH).. PHUB0(K,PH)=L=USKPH(K,PH)*YSPH01(K,PH);

ALMH03M(K,PH).. PHUB0(K,PH)=G=LSKPH(K,PH)*YSPH01(K,PH);

*PRODUCT IN THE MAIN PROCESSING PLANT

ALMH04(K).. PMAIN0(K)=L=USKP(K)*YSP01(K);

ALMH04M(K).. PMAIN0(K)=G=LSKP(K)*YSP01(K);

*PRODUCT IN CONSUMPTION REGIONS

ALMH05(K,MK).. PMARKET0(K,MK)=L=USKMK(K,MK)*YSMK0(K,MK);

ALMH05M(K,MK).. PMARKET0(K,MK)=G=LSKMK(K,MK)*YSMK0(K,MK);

*TO KNOW THE STORAGE CAPACITY AT THE BEGINING IN EACH HARVESTING SITE

*IF ALMACEN(M,H) IS EQUAL TO ZERO, THEN THERE IS NOT STORAGE AT THE BEGINING

ALMH06(M,H).. MHOME0(M,H)=E=ALMACEN(M,H)*USMH(M,H);

*CONTINUITY CONSTRAINTS TO ENSURE THAT STORAGE AT THE BEGINING IS EQUAL TO STORAGE AT THE
END

ALMAFIN(M,H,T)\$ (ORD(T)=12).. MHOME(M,H,T)=E=MHOME0(M,H);

ALMAFIN1(M,PH,T)\$(ORD(T)=12).. MHUB(M,PH,T)=E=MHUB0(M,PH);
ALMAFIN2(M,T)\$(ORD(T)=12).. MMAIN(M,T)=E=MMAIN0(M);
ALMAFIN3(K,PH,T)\$(ORD(T)=12).. PHUB(K,PH,T)=E=PHUB0(K,PH);
ALMAFIN4(K,T)\$(ORD(T)=12).. PMAIN(K,T)=E=PMAIN0(K);
ALMAFIN5(K,MK,T)\$(ORD(T)=12).. PMARKET(K,MK,T)=E=PMARKET0(K,MK);

*CONSTRAINT TO LIMIT THE RAW MATERIAL PRODUCTION (PRODUCED RAW MATERIAL LOWER THAN
MAXIMUM PRODUCTION)

MAXPROD(M,H,T).. MAXMPROD(M,H,T)=G=MPROD(M,H,T);

*MASS BALANCES

*MASS BALANCES FOR RAW MATERIAL IN HARVESTING SITES

BMHOME(M,H,T)\$(ORD(T)>1).. MHOME(M,H,T)=E=MPROD(M,H,T)-SUM((PH),MHOMEHUB(M,H,PH,T))-
MHOMEMAIN(M,H,T)+MHOME(M,H,T-1);

BMHOME2(M,H,T)\$(ORD(T)=1).. MHOME(M,H,T)=E=MPROD(M,H,T)-SUM((PH),MHOMEHUB(M,H,PH,T))-
MHOMEMAIN(M,H,T)+MHOME0(M,H);

*MASS BALANCES FOR RAW MATERIAL IN PROCESSING SITES

BMHUB(M,PH,T)\$(ORD(T)>1).. MHUB(M,PH,T)=E=SUM((H),MEHOMEHUB(M,H,PH,T))-
MHUBMAIN(M,PH,T)-SUM((K,R),MHUBPROC(M,K,R,PH,T))+MHUB(M,PH,T-1);

BMHUB2(M,PH,T)\$(ORD(T)=1).. MHUB(M,PH,T)=E=- MHUBMAIN(M,PH,T)-
SUM((K,R),MHUBPROC(M,K,R,PH,T))+MHUB0(M,PH);

*MASS BALANCES FOR RAW MATERIAL IN THE MAIN PROCESSING SITE

BMMAIN(M,T)\$(ORD(T)>1)..

MMAIN(M,T)=E=SUM((H),MEHOMEMAIN(M,H,T))+SUM((PH),MEHUBMAIN(M,PH,T))-
SUM((K,R),MMAINPROC(M,K,R,T))+MMAIN(M,T-1);

BMMAIN2(M,T)\$(ORD(T)=1).. MMAIN(M,T)=E=-SUM((K,R),MMAINPROC(M,K,R,T))+MMAIN0(M);

*MASS BALANCES FOR PRODUCT IN PROCESSING PLANTS

BPHUB(K,PH,T)\$(ORD(T)>1).. PHUB(K,PH,T)=E=SUM((M,R),PHUBPROC(M,K,R,PH,T))-PHUBMAIN(K,PH,T)-
SUM((MK),PHUBMARKET(K,PH,MK,T))+PHUB(K,PH,T-1);

BPHUB2(K,PH,T)\$(ORD(T)=1).. PHUB(K,PH,T)=E=-PHUBMAIN(K,PH,T)-
SUM((MK),PHUBMARKET(K,PH,MK,T))+PHUB0(K,PH);

*MASS BALANCES FOR PRODUCT IN THE MAIN PROCESSING PLANT

$B_{PMAIN}(K,T) \$(ORD(T)>1)..$

$P_{MAIN}(K,T)=E=SUM((M,R),P_{MAINPROC}(M,K,R,T))+SUM((PH),PE_{HUBMAIN}(K,PH,T))-$
 $SUM((MK),P_{MAINMARKET}(K,MK,T))+P_{MAIN}(K,T-1);$

$B_{PMAIN2}(K,T) \$(ORD(T)=1).. \quad P_{MAIN}(K,T)=E=-SUM((MK),P_{MAINMARKET}(K,MK,T))+P_{MAIN0}(K);$

*MASS BALANCES FOR PRODUCT IN CONSUMPTION REGIONS

$B_{PMARKET}(K,MK,T) \$(ORD(T)>1)..$

$P_{MARKET}(K,MK,T)=E=SUM((PH),PE_{HUBMARKET}(K,PH,MK,T))+PE_{MAINMARKET}(K,MK,T)-$
 $PSALE(K,MK,T)+P_{MARKET}(K,MK,T-1);$

$B_{PMARKET2}(K,MK,T) \$(ORD(T)=1).. \quad P_{MARKET}(K,MK,T)=E=-PSALE(K,MK,T)+P_{MARKET0}(K,MK);$

*MAXIMUM SALE (TO LIMIT THE AMOUNT OF SOLD PRODUCT)

$USALE(K,MK,T).. \quad P_{DEMAND}(K,MK,T)=G=PSALE(K,MK,T);$

*TRANSPORTATION CONSTRAINTS(IN = OUT)

$CONSTHOMEHUB(M,H,PH,T) \$(ORD(T)<12).. \quad M_{HOMEHUB}(M,H,PH,T)-ME_{HOMEHUB}(M,H,PH,T+1)=E=0;$

$CONSTMOMEMAIN(M,H,T) \$(ORD(T)<12).. \quad M_{HOMEMAIN}(M,H,T)-ME_{HOMEMAIN}(M,H,T+1)=E=0;$

$CONSTHUBMAIN1(M,PH,T) \$(ORD(T)<12).. \quad M_{HUBMAIN}(M,PH,T)-ME_{HUBMAIN}(M,PH,T+1)=E=0;$

$CONSTHUBMAIN2(K,PH,T) \$(ORD(T)<12).. \quad PH_{UBMAIN}(K,PH,T)-PE_{HUBMAIN}(K,PH,T+1)=E=0;$

$CONSTHUBMARKET(K,PH,MK,T) \$(ORD(T)<12).. \quad PH_{UBMARKET}(K,PH,MK,T)-$
 $PE_{HUBMARKET}(K,PH,MK,T+1)=E=0;$

$CONSTMMAINMARKET(K,MK,T) \$(ORD(T)<12).. \quad P_{MAINMARKET}(K,MK,T)-PE_{MAINMARKET}(K,MK,T+1)=E=0;$

*TRANSPORTATION LIMITS

$UTHOMEHUB(M,H,PH,T).. \quad M_{HOMEHUB}(M,H,PH,T)=L=Y_{THOMEHUB}(M,H,PH,T)*UTMHPH(M,H,PH);$

$LTHOMEHUB(M,H,PH,T).. \quad M_{HOMEHUB}(M,H,PH,T)=G=Y_{THOMEHUB}(M,H,PH,T)*LTMHPH(M,H,PH);$

UTHOMEMAIN(M,H,T).. MHOMEMAIN(M,H,T)=L=YTHOMEMAIN(M,H,T)*UTMHP(M,H);
 LTHOMEMAIN(M,H,T).. MHOMEMAIN(M,H,T)=G=YTHOMEMAIN(M,H,T)*LTMHP(M,H);

UTHUBMAIN1(M,PH,T).. MHUBMAIN(M,PH,T)=L=YTHUBMAIN1(M,PH,T)*UTKPHP1(M,PH);
 LTHUBMAIN1(M,PH,T).. MHUBMAIN(M,PH,T)=G=YTHUBMAIN1(M,PH,T)*LTKPHP1(M,PH);

UTHUBMAIN2(K,PH,T).. PHUBMAIN(K,PH,T)=L=YTHUBMAIN2(K,PH,T)*UTKPHP2(K,PH);
 LTHUBMAIN2(K,PH,T).. PHUBMAIN(K,PH,T)=G=YTHUBMAIN2(K,PH,T)*LTKPHP2(K,PH);

UTHUBMARKET(K,PH,MK,T)..
 PHUBMARKET(K,PH,MK,T)=L=YTHUBMARKET(K,PH,MK,T)*UTKPHMK(K,PH,MK);
 LTHUBMARKET(K,PH,MK,T)..
 PHUBMARKET(K,PH,MK,T)=G=YTHUBMARKET(K,PH,MK,T)*LTKPHMK(K,PH,MK);

UTMMAINMARKET(K,MK,T).. PMAINMARKET(K,MK,T)=L=YTMAINMARKET(K,MK,T)*UTKPMK(K,MK);
 LTMMAINMARKET(K,PH,MK,T).. PMAINMARKET(K,MK,T)=G=YTMAINMARKET(K,MK,T)*LTKPMK(K,MK);

*PROCESSING EQUATIONS

CONVMP12(M,K,R,PH,T).. PHUBPROC(M,K,R,PH,T+1)-ALFA(K,M,R)*MHUBPROC(M,K,R,PH,T)=E=0;
 UCONVMP1(M,K,R,PH,T).. MHUBPROC(M,K,R,PH,T)=L=YPHUB(M,K,R,PH,T)*UPMKRPH(M,K,R,PH)*3;
 LCONVMP1(M,K,R,PH,T).. MHUBPROC(M,K,R,PH,T)=G=YPHUB(M,K,R,PH,T)*LPMKRPH(M,K,R,PH);

CONVMP22(M,K,R,T).. PMAINPROC(M,K,R,T+1)-ALFA(K,M,R)*MMAINPROC(M,K,R,T)=E=0;
 UCONVMP2(M,K,R,T).. MMAINPROC(M,K,R,T)=L=YPMAIN(M,K,R,T)*UPMKRP(M,K,R)*3;
 LCONVMP2(M,K,R,T).. MMAINPROC(M,K,R,T)=G=YPMAIN(M,K,R,T)*LPMKRP(M,K,R);

*STORAGE COST

CSMHOME(M,H)..
 CTSMH(M,H)=E=CSMH(M,H)*USMH(M,H)*YSMHOME1(M,H)+SUM((T),CVSMH(M,H,T)*MHOME(M,H,T));
 CSMHUB(M,PH)..
 CTSMPH(M,PH)=E=CSMPH(M,PH)*USMPH(M,PH)*YSMHUB1(M,PH)+SUM((T),CVSMPH(M,PH,T)*MHUB(M,PH,T));
 CSMMAIN(M)..
 CTSMMP(M)=E=CSMP(M)*USMP(M)*YSMMAIN1(M)+SUM((T),CVSMP(M,T)*MMAIN(M,T));

CSPHUB(K,PH)..

CTSKPH(K,PH)=E=CSKPH(K,PH)*USKPH(K,PH)*YSPHUB1(K,PH)+SUM((T),CVSKPH(K,PH,T)*PHUB(K,PH,T));

CSPMAIN(K).. CTSKP(K)=E=CSKP(K)*USKP(K)*YSPMAIN1(K)+SUM((T),CVSKP(K,T)*PMAIN(K,T));

CSPMARKET(K,MK)..

CTSKMK(K,MK)=E=CSKMK(K,MK)*USKMK(K,MK)*YSPMARKET1(K,MK)+SUM((T),CVSKMK(K,MK,T)*PMARKET(K,MK,T));

*STORAGE LIMITS

USMHOME(M,H,T).. MHOME(M,H,T)=L=USMH(M,H)*YSMHOME2(M,H,T);

LSMHOME(M,H,T).. MHOME(M,H,T)=G=LSMH(M,H)*YSMHOME2(M,H,T);

USMHUB(M,PH,T).. MHUB(M,PH,T)=L=USMPH(M,PH)*YSMHUB2(M,PH,T);

LSMHUB(M,PH,T).. MHUB(M,PH,T)=G=LSMPH(M,PH)*YSMHUB2(M,PH,T);

USMMAIN(M,T).. MMAIN(M,T)=L=USMP(M)*YSMMAIN2(M,T);

LSMMAIN(M,T).. MMAIN(M,T)=G=LSMP(M)*YSMMAIN2(M,T);

USPHUB(K,PH,T).. PHUB(K,PH,T)=L=USKPH(K,PH)*YSPHUB2(K,PH,T);

LSPHUB(K,PH,T).. PHUB(K,PH,T)=G=LSKPH(K,PH)*YSPHUB2(K,PH,T);

USPMAIN(K,T).. PMAIN(K,T)=L=USKP(K)*YSPMAIN2(K,T);

LSPMAIN(K,T).. PMAIN(K,T)=G=LSKP(K)*YSPMAIN2(K,T);

USPMARKET(K,MK,T).. PMARKET(K,MK,T)=L=USKMK(K,MK)*YSPMARKET2(K,MK,T);

LSPMARKET(K,MK,T).. PMARKET(K,MK,T)=G=LSKMK(K,MK)*YSPMARKET2(K,MK,T);

*RELATIONSHIP FOR BYNARY VARIABLES

R1(M,H).. YSMHOME1(M,H)=L=SUM((T),YSMHOME2(M,H,T))+YSH0(M,H);

R2(M,H).. 12*YSMHOME1(M,H)=G=SUM((T),YSMHOME2(M,H,T))+YSH0(M,H);

R3(M,PH).. YSMHUB1(M,PH)=L=SUM((T),YSMHUB2(M,PH,T))+YSPH0(M,PH);

R4(M,PH).. 12*YSMHUB1(M,PH)=G=SUM((T),YSMHUB2(M,PH,T))+YSPH0(M,PH);

R5(M).. YSMMAIN1(M)=L=SUM((T),YSMMAIN2(M,T))+YSPO(M);

R6(M).. 12*YSMMAIN1(M)=G=SUM((T),YSMMAIN2(M,T))+YSPO(M);

R7(K,PH).. YSPHUB1(K,PH)=L=SUM((T),YSPHUB2(K,PH,T))+YSPH01(K,PH);
R8(K,PH).. 12*YSPHUB1(K,PH)=G=SUM((T),YSPHUB2(K,PH,T))+YSPH01(K,PH);

R9(K).. YSPMAIN1(K)=L=SUM((T),YSPMAIN2(K,T))+YSP01(K);
R10(K).. 12*YSPMAIN1(K)=G=SUM((T),YSPMAIN2(K,T))+YSP01(K);

R11(K,MK).. YSPMARKET1(K,MK)=L=SUM((T),YSPMARKET2(K,MK,T))+YSMK0(K,MK);
R12(K,MK).. 12*YSPMARKET1(K,MK)=G=SUM((T),YSPMARKET2(K,MK,T))+YSMK0(K,MK);

*OBJECTIVE FUNCTIONS

OBJ1.. PROFIT=E=SUM((K,MK,T),CP(K,MK,T)*PSALE(K,MK,T))-
SUM((M,H,T),CMPROD(M,H,T)*MPROD(M,H,T))
 -SUM((M,H),CTSMH(M,H))-SUM((M,PH),CTSMPH(M,PH))-SUM((M),CTSMP(M))
 -SUM((K,PH),CTSKPH(K,PH))-SUM((K),CTSKP(K))-SUM((K,MK),CTSKMK(K,MK))
 -SUM((M,H,PH,T),CTMHPH(M,H,PH,T)*MHOMEHUB(M,H,PH,T))-
SUM((M,H,T),CTMHP(M,H,T)*MHOMEMAIN(M,H,T))
 -SUM((M,PH,T),CTMPHP(M,PH,T)*MHUBMAIN(M,PH,T))-
SUM((K,PH,T),CTKPHP(K,PH,T)*PHUBMAIN(K,PH,T))
 -SUM((K,PH,MK,T),CTKPHMK(K,PH,MK,T)*PHUBMARKET(K,PH,MK,T))-
SUM((K,MK,T),CTKPMK(K,MK,T)*PMAINMARKET(K,MK,T))
 -SUM((M,K,R,PH,T),CPMKRPH(M,K,R,PH,T)*MHUBPROC(M,K,R,PH,T))-
SUM((M,K,R,T),CPMKRP(M,K,R,T)*MMAINPROC(M,K,R,T))
 -SUM((K,MK,T),PENALTY(K)*CP(K,MK,T)*(PDEMAND(K,MK,T)-PSALE(K,MK,T)));

OBJ2..

EI=E=SUM((K,MK,T),EIP(K)*PSALE(K,MK,T))+SUM((M,H,T),EIMPROD(M)*MPROD(M,H,T))

+SUM((M,H,PH,T),EITMHPH(M,H,PH)*MHOMEHUB(M,H,PH,T))+SUM((M,H,T),EITMHP(M,H)*MHOMEMAIN(M,H,T))

+SUM((M,PH,T),EITMPHP(M,PH)*MHUBMAIN(M,PH,T))+SUM((K,PH,T),EITKPHP(K,PH)*PHUBMAIN(K,PH,T))

+SUM((K,PH,MK,T),EITKPHMK(K,PH,MK)*PHUBMARKET(K,PH,MK,T))+SUM((K,MK,T),EITKPMK(K,MK)*PMAIN
MARKET(K,MK,T))

+SUM((M,K,R,PH,T),EIPMKRPH(M,K,R,PH)*MHUBPROC(M,K,R,PH,T))+SUM((M,K,R,T),EIPMKRP(M,K,R)*MMA
INPROC(M,K,R,T));

OBJ3..

SI=E=SUM((M,H,T),JOBS1(M,H)*MPROD(M,H,T))+SUM((M,H,PH,T),JOBS2(H,PH)*MHOMEHUB(M,H,PH,T))+S
UM((M,H,T),JOBS22(H)*MHOMEMAIN(M,H,T))

+SUM((M,PH,T),JOBS23(PH)*MHUBMAIN(M,PH,T))+SUM((M,K,R,PH,T),JOBS3(K,M,R)*MHUBPROC(M,K,R,PH,
T))+SUM((M,K,R,T),JOBS3(K,M,R)*MMAINPROC(M,K,R,T));

PEMAINMARKET.UP(K,MK,T)=PDEMAND(K,MK,T);

ECN(K,MK,T).. SUM(PH,PEHUBMARKET(K,PH,MK,T))=L=PDEMAND(K,MK,T);

*ASSUMING THAT THE HUBS PRODUCE ONLY THE 20% OF FINAL PRODUCTOS

OBJ4..

PROFITMR=E=SUM((K,MK,T),PEMAINMARKET(K,MK,T)*CP(K,MK,T))-
SUM((M,K,R,T),CPMKRP(M,K,R,T)*MMAINPROC(M,K,R,T))- SUM((M),CTSMP(M))- SUM((K),CTSKP(K))-
SUM((K,MK,T),CTKPMK(K,MK,T)*PMAINMARKET(K,MK,T))-
SUM((K,MK,T),PENALTY(K)*CP(K,MK,T)*(PDEMAND(K,MK,T)-PSALE(K,MK,T)));

OBJ5..

PROFITHUB=E=SUM((K,PH,MK,T),PEHUBMARKET(K,PH,MK,T)*CP(K,MK,T))-SUM((M,PH),CTSMPH(M,PH))-
SUM((K,PH),CTSKPH(K,PH))- SUM((M,PH,T),CTMPHP(M,PH,T)*MHUBMAIN(M,PH,T))-
SUM((K,PH,T),CTKPHP(K,PH,T)*PHUBMAIN(K,PH,T))-
SUM((M,K,R,PH,T),CPMKRPH(M,K,R,PH,T)*MHUBPROC(M,K,R,PH,T))-
SUM((K,PH,MK,T),CTKPHMK(K,PH,MK,T)*PHUBMARKET(K,PH,MK,T))-
SUM((K,MK,T),PENALTY(K)*CP(K,MK,T)*(PDEMAND(K,MK,T)-PSALE(K,MK,T)));

OBJ6..

PROFITHV=E--SUM((M,H,T),CMPROD(M,H,T)*MPROD(M,H,T))-SUM((M,H),CTSMH(M,H))-
 SUM((K,MK),CTSKMK(K,MK))-SUM((M,H,PH,T),CTMHPH(M,H,PH,T)*MHOMEHUB(M,H,PH,T))-
 SUM((M,H,T),CTMHP(M,H,T)*MHOMEMAIN(M,H,T))-
 SUM((K,MK,T),PENALTY(K)*CP(K,MK,T)*(PDEMAND(K,MK,T)-PSALE(K,MK,T)));

PARAMETERS

W1

W2

W3;

W1=1; W2=1; W3=1;

OBJ7..

TOTALPR=E=W1*PROFITMR+W2*PROFITHUB+W3*PROFITHV;

*ADDITIONAL EQUATIONS

ADIT.. EI=I=MAXEI*CONTEI;

ADIT2.. PROFIT=G=0;

MODEL SCHEDULLING /ALL/;

MODEL SCHEDULLINGINITIAL /ALL/;

*PARAMETERS TO SHOW RESULTS

PARAMETER

JOBPROD TOTAL JOBS FOR PRODUCTION,

JOBTRANS TOTAL JOBS FOR TRANSPORTATION,

JOBPROCES TOTAL JOBS FOR PROCESSING,

EIPRODM OVERALL ENVIRONMENTAL IMPACT CAUSED BY RAW MATERIAL PRODUCTION,

EITRANSP OVERALL ENVIRONMENTAL IMPACT CAUSED BY TRANSPORTATION,

EIPROCES OVERALL ENVIRONMENTAL IMPACT CAUSED BY PROCESSING,

*PERCENTAGES TO ANALYZE

MATERIAPRIMA(M,H,T) PERCENTAGE OF PRODUCED RAW MATERIAL COMPARED BY THE MAXIMUM
 POSSIBLE PRODUCTION,

MATERIAPRIMAPROC1(M,K,PH,T) PERCENTAGE OF PROCESSED RAW MATERIAL COMPARED BY THE
MAXIMUM POSSIBLE RAW MATERIAL TO BE PROCESSED,
MATERIAPRIMAPROC2(M,K,T) PERCENTAGE OF PROCESSED RAW MATERIAL COMPARED BY THE MAXIMUM
POSSIBLE RAW MATERIAL TO BE PROCESSED IN MAIN PROCESSING PLANT,

PRODUCT(K,MK,T) PERCENTAGE OF SOLD PRODUCT COMPARED WITH THE TOTAL DEMAND;

CONTEI=1;
MAXEI=2E20;
PROFITHUB.LO=0;
SOLVE SCHEDULLING USING MIP MAXIMIZING PROFIT;
MAXEI=EI.L;

CONTEI=0;

*THIS PARAMETER CONTEI IS CHANGING TO CONSIDER DIFFERENT UPPER BOUND FOR ENVIRONMENTAL
IMPACT

\$ontext WHILE ((CONTEI LE 1),

SOLVE SCHEDULLING USING MIP MAXIMIZING SI;

* CONSIDERING OF INDIVIDUAL TERMS OF OBJECTIVE FUNCTION

JOBPROD=SUM((M,H,T),JOBS1(M,H)*MPROD.L(M,H,T));

JOBTRANS=SUM((M,H,PH,T),JOBS2(H,PH)*MHOMEHUB.L(M,H,PH,T))+SUM((M,H,T),JOBS22(H)*MHOMEMAI
N.L(M,H,T))+SUM((M,PH,T),JOBS23(PH)*MHUBMAIN.L(M,PH,T));

JOBPROCES=

SUM((M,K,R,PH,T),JOBS3(K,M,R)*MHUBPROC.L(M,K,R,PH,T))+SUM((M,K,R,T),JOBS3(K,M,R)*MMAINPROC.L(
M,K,R,T));

EIPRODM=SUM((M,H,T),EIMPROD(M)*MPROD.L(M,H,T));

EITRANSP=SUM((M,H,PH,T),EITMHPH(M,H,PH)*MHOMEHUB.L(M,H,PH,T))+SUM((M,H,T),EITMHP(M,H)*MH
OMEMAIN.L(M,H,T))

+SUM((M,PH,T),EITMPHP(M,PH)*MHUBMAIN.L(M,PH,T))+SUM((K,PH,T),EITKPHP(K,PH)*PHUBMAIN.L(K,PH,T))

+SUM((K,PH,MK,T),EITKPHMK(K,PH,MK)*PHUBMARKET.L(K,PH,MK,T))+SUM((K,MK,T),EITKPMK(K,MK)*PMAINMARKET.L(K,MK,T));

EIPROCES=SUM((M,K,R,PH,T),EIPMKRPH(M,K,R,PH)*MHUBPROC.L(M,K,R,PH,T))+SUM((M,K,R,T),EIPMKRP(M,K,R)*MMAINPROC.L(M,K,R,T));

DISPLAY CONTEI, PROFIT.L, EI.L,EIPRODM,EITRANSP,EIPROCES, SI.L, JOBPROD, JOBTRANS,
JOBPROCES, MEHOMEHUB.L, MHOMEMAIN.L,MHUBPROC.L,MMAINPROC.L;

CONTEI=CONTEI+0.25E-1;

);

\$offtext