

## Cadena de suministro para Bioturbosina ATJ por medio de procesos intensificados: caso del aeropuerto de la Cd. De México

Ivan Fernando Hernández Araujo\*, Juan José Quiroz Ramírez y Gabriel Contreras Zarazúa

CIATEC, PICYT, León, Guanajuato, México

\* Autor de correspondencia: ihernandez.picyt@ciatec.mx; Tel.: 4621130193

**Energía Renovable** (Biocombustible).

**Palabras clave:** Biocombustible; Cadena de Suministro; Proceso Intensificado; Optimización;

**Introducción.** Los vuelos de avión producen el 2% del total de las emisiones de dióxido de carbono en el mundo (Huang et al., 2019), esta es una de las razones por las cuales La Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA) ha establecido el objetivo de reducir en un 50% las emisiones generadas por vuelos para el 2050 (CEMIE-Bio, 2017). Lo cual ha impulsado un alto interés en la generación de Biocombustibles para la industria de aviones, sin embargo una discontinua disponibilidad y altos costos de mantenimiento y logística se siguen estudiando para hacer más viable la comercialización de los Biocombustibles (De Meyer et al., 2014). Estas necesidades sumadas a los retos multiescala, multiobjetivo y multi-involucrados, hacen necesario un óptimo diseño de cadena de suministro en los biocombustibles para aviones (García & You, 2015). En el siguiente trabajo se aborda el estudio de la cadena de suministro para bioturbosina por medio de procesos intensificados ATJ para el aeropuerto de la Cd. De México, como la primera parte de un sistema de Smart Manufacturing que se está desarrollando buscando nuevos enfoques de optimización.

**Materiales y Métodos.** Para abordar el caso de estudio se plantea la superestructura mostrada en la Figura 1, 59 posibles centros de cosecha, 59 posibles ubicaciones de bio-refinería y el aeropuerto de la Cd. De México son considerados (Figura1b). Las dos materias primas seleccionadas como fuente de biomasa y suficientes en México para este fin son la caña de azúcar y el rastrojo de maíz (SAGARPA, 2015). Los datos usados de la demanda del aeropuerto de Cd. De México y la cantidad de materia prima en 2019 fueron tomados de las páginas del gobierno federal de Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), así como del Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP.

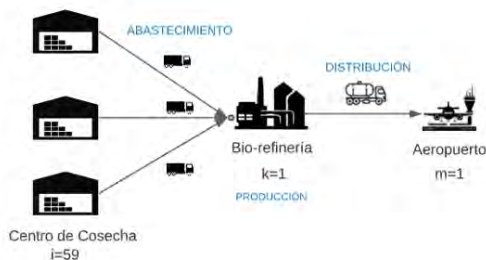


Figura 1 Planteamiento del modelo

El objetivo del diseño de la cadena de suministro es determinar: ubicación de bio-refinería (solo una), centros de cosecha para envío de materia prima, envíos mensuales de materia prima a bio-refinería, envíos mensuales de bio-turbosina de bio-refinería al aeropuerto, cantidad de bio-turbosina producida y acumulación de materia prima y de bio-turbosina. Bajo las siguientes restricciones: la cantidad de biomasa enviada debe ser menor a la biomasa disponible del centro de cosecha, la selección de número de bio-refinerías debe ser igual a uno, las ventas de bio-turbosina deben ser menores a la demanda, la capacidad de planta tiene como límite inferior el cumplir el 30% de la demanda y como límite superior el 100%. EL problema de

optimización considera la maximización de la función objetivo económica profit y la minimización del impacto ambiental mediante el Eco-indicador 99. Ec 1-3.

$$fo = [\max \text{profit}; \min \text{EcoInd99}] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{profit} = & \sum_{j \in P} \sum_k \sum_m \sum_t G V_{j,p,k,m,t} - (\sum_i \sum_{j \in RM} \sum_k \sum_t \text{disIK}_{i,j,k,t}^{RM} + \\ & 3.126 \sum_i \sum_{j \in RM} \sum_k \sum_t \text{ECR}_{i,j,k,t}^{RM} + 13.1 \sum_k \sum_m \sum_t \text{disKM}_{k,m,t} + \\ & 5.31 \sum_{p \in RM} \sum_k \sum_m \sum_t \text{EM}_{p,k,m,t} + \sum_i \sum_{j \in RM} \sum_k \sum_t \text{CB}_{i,j,k,t}^{RM}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{EcoInd99} = \sum_k \text{EcoPR}_k + \sum_k \text{EcoPRMR}_k + \text{EcoPTS} + \text{EcoPTL} \quad (3)$$

El modelo propuesto fue formulado como Programación Lineal Entera Mixta ( MILP ), el cual fue resuelto en el Software GAMS mediante el solucionador CPLEX. Para evaluar el conjunto de soluciones óptimas se construye una curva de Pareto con las dos funciones objetivo, siguiendo el método de restricciones. (Diwekar, 2009).

**Resultados.** En la Figura 9 se muestra el frente de Pareto de las dos funciones objetivo, PROFIT VS ECOI99. Se pueden observar 3 secciones. La Sección A muestra como para la solución con el mínimo valor del EcoIndicador la producción de Bioturbosina no alcanza para cubrir los gastos operativos. En la sección B se observa como al aumentar el Profit, el Ecoindicador también aumenta ya que van directamente relacionados al aumento de producción. En la Sección C muestra una solución equilibrada entre las funciones objetivo, para este punto se obtiene que la ubicación de la refinería y el Centro de Cosecha elegido están en el punto 44, ubicado al sur de Veracruz.

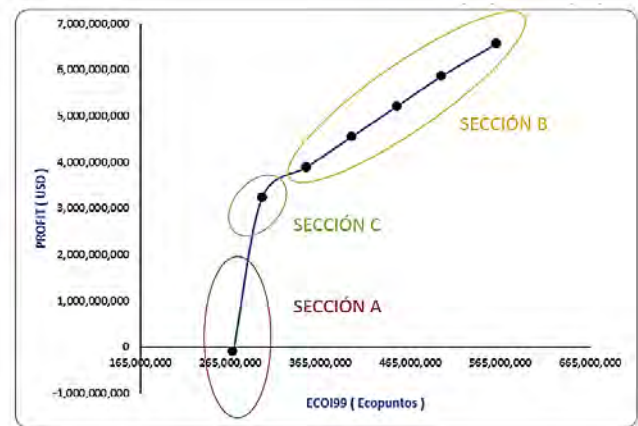


Figura 2 Frente de Pareto de funciones objetivo

La materia prima seleccionada para esta solución es el bagazo de caña del centro de cosecha 44, y el plan de envíos es mostrada en la Figura 3. La suma total de los envíos de Bio-Jet Fuel cubren el 34.5 % de la demanda anual del aeropuerto.

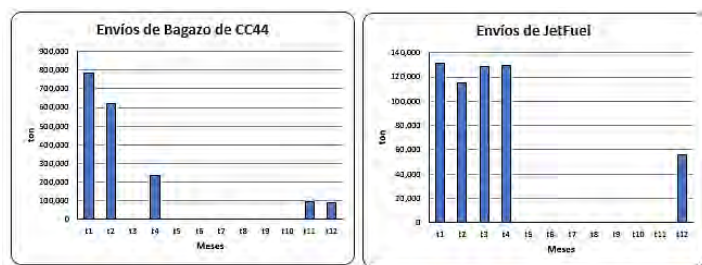


Figura 3 Planeación de envíos

**Conclusiones.** La solución del modelo de optimización multiobjetivo para el diseño de cadena de suministro determinó: Selección de la ubicación de la planta (ubicación 44, Sur de Veracruz), selección de los centros de cosecha (Centro de cosecha 44, Sur de Veracruz) y la materia prima (Bagazo de Caña). La planeación integra envíos de bagazo de caña que representan el 50% del centro de cosecha y la suma total de los envíos de Bioturbosina cubren el 34.5 % de la demanda anual del aeropuerto de la Cd. De México, suficiente para cubrir el límite de 30% de mezcla permitido de Bioturbosina ATJ en vuelos (ASTM, 2017).

### Bibliografía.

- CEMIE-Bio. (2017). Mapa de Ruta Tecnológica Bioturbosina. *Secretaría de Energía*, 80. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/324219/MRT\\_Bioturbosina\\_Final.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/324219/MRT_Bioturbosina_Final.pdf)
- De Meyer, A., Cattrysse, D., Rasinmäki, J., & Van Orshoven, J. (2014). Methods to optimise the design and management of biomass-for-bioenergy supply chains: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 657–670. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.036>
- Garcia, D. J., & You, F. (2015). Supply chain design and optimization: Challenges and opportunities. *Computers and Chemical Engineering*, 81, 153–170. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.03.015>
- Huang, E., Zhang, X., Rodríguez, L., Khanna, M., de Jong, S., Ting, K. C., Ying, Y., & Lin, T. (2019). Multi-objective optimization for sustainable renewable jet fuel production: A case study of corn stover based supply chain system in Midwestern U.S. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 115(September), 109403. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109403>
- SAGARPA. (2015). *Plan de manejo de residuos generados en actividades agrícolas*. 30. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346963/Manejo\\_de\\_Residuos\\_Reporte\\_Ejecutivo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346963/Manejo_de_Residuos_Reporte_Ejecutivo.pdf)