

Esto se resuelve para cada uno de los impactos expresados en las ecuaciones (15)-(19) y obtener así los epsilon para cada uno de los impactos ($\epsilon_{\max}^1, \epsilon_{\min}^1$ de IAST; $\epsilon_{\max}^2, \epsilon_{\min}^2$ de IAPT; $\epsilon_{\max}^3, \epsilon_{\min}^3$ de IATT1; $\epsilon_{\max}^4, \epsilon_{\min}^4$ de IATT2; $\epsilon_{\max}^5, \epsilon_{\min}^5$ de IATT3). Para resolver esto las ecuaciones (15)-(19) son linealizadas utilizando variables binarias, por ejemplo las ecuaciones (11) y (12) linealizan las ecuaciones (17)-(19).

4 Caso de estudio

El enfoque propuesto se aplica al caso de estudio presentado en Mele y colab. [11] sobre la producción de etanol en Argentina. Sobre esta base, se requiere obtener el diseño óptimo sustentable de la CS para la producción de etanol a partir de caña de azúcar y mieles. Las características del caso de estudio analizado son las siguientes:

- Los sitios de materia prima son tres ubicados en: Jujuy, Tucumán y Salta. De cada uno de ellos se pueden obtener 2 tipos de materia prima: caña de azúcar y/o miel. Cada zona tiene una capacidad máxima de producción de caña de azúcar y miel.
- Las plantas de producción de etanol pueden instalarse en 4 lugares distintos: Salta, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos. Las tecnologías posibles para cada una de ellas son dos: una que utiliza como materia prima la caña de azúcar y otra que utiliza la miel.
- Existen 5 posibles lugares de instalación de los depósitos, con una capacidad máxima en cada uno de ellos.
- Hay 5 clientes ubicados en distintos lugares con una demanda máxima y mínima de etanol.
- Existen dos medios de transporte principales: camiones y trenes. De acuerdo al tipo de material a trasladar: caña de azúcar, miel o etanol, se presentan diferentes configuraciones y rendimientos de los mismos.

Para analizar cada uno de los impactos ambientales es necesario conocer el entorno dónde se propone que se llevará a cabo el proyecto en cuestión. Es por eso que para cada uno de los impactos a tener en cuenta en el modelo, se generaron escenarios que nos permitan obtener una descripción física del espacio afectado. Por ejemplo para los sitios de materia prima se propusieron, de manera general, las siguientes descripciones:

- Jujuy: suelo fértil. Existencia de montes en la gran mayoría del terreno.
- Tucumán: zona preparada y destinada para cultivos. Bajo valor paisajístico.
- Salta: zona de gran valor turístico. Existencia de pequeños montes aislados.

Para los demás impactos se utilizó el mismo procedimiento.

4.1 Resultados

El modelo propuesto y los subproblemas fueron implementados y resueltos en GAMS [14]. El modelo presentado en (21) consiste de 1.438 variables continuas, 20

variables binarias, y 50 restricciones y fue resuelto en menos de 1 seg. de CPU. Una vez obtenidos los resultados del análisis de impacto ambiental mediante la metodología planteada en la sección 2.1, se procede a obtener los valores de ϵ_{\min} y ϵ_{\max} . Primero se resuelve (21) para obtener el diseño óptimo de la CS con máximo beneficio, obteniendo así los ϵ_{\max} para cada uno de los impactos. Para obtener los ϵ_{\min} de cada uno de ellos, se resuelven problemas donde la función objetivo es la minimización de cada impacto.

De esta manera se obtiene un rango comprendido entre ϵ_{\min} - ϵ_{\max} para cada impacto. Con el objetivo de encontrar diseños sustentables para la CS, se resuelve en forma iterativa el problema (22) para cada uno de los impactos ambientales variando el valor de ϵ_{\max} dentro de los valores del rango encontrado anteriormente. En la Fig. 2 y la Fig. 3 se presentan los puntos obtenidos para 6 valores diferentes de ϵ_{\max} .

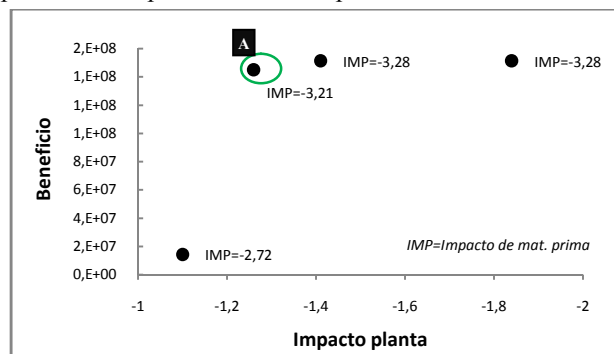


Fig. 2. Beneficio vs impacto de planta

De la evaluación de impacto ambiental, en base a la metodología propuesta, se observa que la magnitud del impacto ambiental del transporte en el caso de estudio es irrelevante. Al no ser influyente en la solución no se muestran los gráficos correspondientes. En la Fig. 2 se pueden observar las soluciones obtenidas al evaluar el beneficio versus el impacto de planta, y para cada punto solución se calculó el impacto de planta correspondiente; se obtienen sólo 4 puntos porque 2 de los puntos coinciden con estos. Mientras que en la Fig. 3 se muestra el beneficio contra el impacto de materia prima, obteniendo en cada punto el impacto de materia prima.

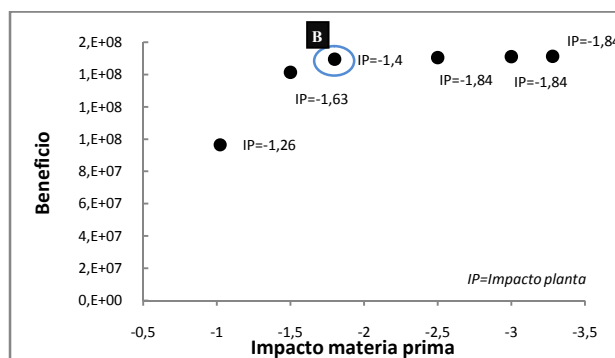




Fig. 3. Beneficio vs impacto materia prima

En la siguiente tabla se analizan algunos puntos solución obtenidos con el modelo:

Tabla 2. Resultados obtenidos del caso de estudio

Escenario	Beneficio (USD)	Impacto planta	Impacto mat. prima	Configuración CS
Max. beneficio	151.262.356	-1,84	-3,28	3 sitios de mat. prima, 3 plantas, 5 ctros de distribución Producción=demanda máxima
Min. imp. planta	14.284.485	-1,1	-2,72	2 sitios de mat. prima, 2 plantas, 4 ctros de distribución Producción= demanda mínima
Min. imp. mat. prima	96.605.520	-1,26	-1,02	2 sitios de mat. prima, 2 plantas, 3 ctros de distribución Producción=demanda mínima
 *	144.957.082	-1,26	-3,21	3 sitios de mat prima, 2 plantas, 4 ctros de distribución Producción=95% de demanda máx.
 **	149.433.136	-1,4	-1,8	2 sitios de mat. prima, 3 plantas, 5 ctros de distribución Producción=demanda máxima

* Figura 2, ** Figura 3

En base a lo observado en los gráficos, y considerando cada una de las configuraciones de la CS en relación con el sitio de materia prima y el lugar de instalación de planta, se puede realizar un análisis de las potenciales configuraciones que optimice tanto la performance ambiental como la función económica. Se puede observar que el beneficio cambia notablemente al disminuir cada uno de los impactos considerados, y que genera cambios significativos en el diseño de la CS considerada.

Con este tipo de herramientas se puede obtener análisis íntegros que permiten incluir a los aspectos ambientales como variables de decisión, y así lograr una mayor sustentabilidad en las acciones que se lleven adelante.

5 Conclusiones

En este trabajo se desarrolló un modelo para el diseño óptimo sustentable de una CS, donde se busca maximizar el beneficio económico minimizando los impactos ambientales. Se propone considerar los impactos ambientales de manera desagregada a lo largo de la cadena, integrando aspectos económicos, sociales, culturales y naturales del medio involucrado.

La herramienta utilizada para realizar la EIA se caracteriza por ser simple, económica y fácil de usar, que tiene en cuenta la perspectiva del diseñador. Permite generar posibles configuraciones de la CS que sirven como base para la toma de decisiones en relación al diseño de la misma.

Este trabajo representa un enfoque inicial para realizar este tipo de análisis dentro de la CS. Como una aproximación al estudio de impacto ambiental, constituye una herramienta útil para obtener diseños preliminares de CS sustentables.

6 Referencias

1. Zhu, Q., Cote, R.: Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group. *Journal of Cleaner Production* 12, 1025–1035 (2004)
2. Srivastava, S.: Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews* 9,53-80 (2007)
3. Hollick, M.: Environmental impact assessment in Australia: EIA and environmental management in Western Australia. *Environ. Impact Asses. Rev* 2, 116–9 (1981)
4. Ortolano, L., Sheperd, A.: Environmental impact assessment: challenges and opportunities. *Environ. Impact asses Rev* 13, 3–30 (1995)
5. Samarakoon, M., Rowan, JS.: A critical review of environmental impact statements in Sri Lanka with particular reference to ecological impact assessment. *Environ. Manage.* 41, 441–60 (2008)
6. Snell, T., Cowell, R.: Scoping in environmental impact assessment: balancing precaution and efficiency? *Environ Impact Asses Rev* 26, 359–76 (2006)
7. Wathern, P.: An introductory guide to EIA. *Environmental impact assessment: theory and practice*. London: Biddles Ltd, Guilford and King's Lynn 3–46 (1994)
8. Wood C.: Environmental impact assessment in Victoria: Australian discretion rules EA. *J Enviro Manage* 39, 281–95 (1993)
9. Toro, J., Duarte, O., Requena, I., Zamorano, M.: Determining Vulnerability Importance in Environmental Impact Assessment. The case of Colombia. *Environmental Impact Assessment Rev* 32, 107-117 (2012)
10. Canter, L.: *Manual de evaluación de impacto ambiental. Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto*. Segunda edición. McGraw Hill, Madrid (1998)
11. Mele, F., Kostin, A., Guillén-Gosálbez, G., Jiménez, L.: Multiobjective Model for More Sustainable fuel Supply Chains. A Case Study of the Sugar Cane Industry in Argentina. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 50, 4939-4958 (2011)
12. Canter, L., Sadler, B.: A tool kit for effective EIA practice-Review of methods and perspectives on their application. A supplementary report of the international study of the effectiveness of environmental assessment (1997)
13. Adkins, W., Burke, D.: *Social, economic, and environmental factors in highway decision making*. Texas Transportation Institute, Texas A & M University (1974)
14. Rosenthal, R.: *GAMS-A user's guide*. GAMS development corporation, Washington, DC, USA (2008)