

La macrolocalización de plantas derivados de la caña de azúcar considerando la incertidumbre financiera, en la demanda y la disponibilidad de materias primas. Su importancia en el diseño de procesos.

“Location of plants derived from sugar cane considering the financial uncertainty in demand and availability of raw materials. It´s importance in the design process”

¹Amaury Pérez Martínez^a, ²Hilda Oquendo Ferrer^b, ³Erenio González Suárez^a,
²Luisa Matos Mosquedaa, ²Lourdes Crespo Zafra^a y ²Pablo Galindo Llanes^a

Recibido, abril 2017

Aceptado, julio 2017

RESUMEN

Se presentan los métodos más utilizados para la macrolocalización de plantas, la concepción metodológica y su importancia en el diseño de procesos, aplicables a las plantas de derivados de la industria azucarera.

Se considera la incertidumbre en la disponibilidad de las materias primas y el mercado. De los métodos se propone para la macrolocalización de las plantas el de transporte por su amplia utilización y su sencillez, como herramienta el SOLVER del Microsoft EXCEL por ser

¹ Universidad Estatal Amazónica. Ecuador.

² Universidad de Camagüey. Camagüey, Cuba.

³ Universidad Central "Martha Abreu" Villa Clara, Cuba. ^a

Ingeniero químico

^b Ingeniero industrial

asequible a todos los usuarios. Se presenta la formulación del problema de programación lineal mezclado con enteros aplicado a la localización de plantas de derivados de la industria de la caña de azúcar, listo para ser utilizado en la evaluación de múltiples alternativas en el diseño de procesos.

Palabras clave: macrolocalización, diseño de procesos, método de transporte, incertidumbre.

ABSTRACT

The methods most frequently used in the localization of plants are presented; the methodological concept and its importance in the design of process, applicable to plants derived from the sugar industry. These considering the financial uncertainty in demand and availability of raw materials.

Of the methods proposed for the plant localization of plants, the transport method is proposed for its wide use and simplicity, such as the EXCEL SOLVER tool be accessible all users.

The algorithms of problem of lineal programming mixed with integer is presented, applied to the localization of plants of derivate of sugar cane industry, ready to use in the evaluation of multiples alternatives in the process design.

Keywords: Localization, process design, carriage method, uncertainting

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad para el diseño de nuevas plantas de la industria química, así como para su consecuente proceso inversionista, resultan de gran importancia los estudios de macrolocalización ya que estos permiten determinar la ubicación óptima al menor costo de transporte, considerando las fuentes de materias primas o el destino del producto terminado (si el problema es el clásico de transporte) o para la variante más eficiente, atendiendo a otros criterios de decisión como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Período de Recuperación al Descontado (PRD) (Pérez-Martínez et al., 2012) o la ganancia anual. La diversificación azucarera, en los últimos años, ha necesitado de la realización de estos estudios, que deben considerar el comportamiento del dinero en el tiempo y

la incertidumbre a la que están sujetas las variables, la financiera, la disponibilidad de las materias primas, la demanda del mercado, la disponibilidad de las tecnologías y la fiabilidad de las instalaciones, entre las más importantes.

Se brindarán algunas consideraciones de los estudios de macrolocalización, atendiendo a la importancia de considerar la incertidumbre en los criterios técnicos y económicos.

Se hará hincapié en un procedimiento metodológico que contempla la macrolocalización como un paso intermedio en el diseño de nuevas alternativas tecnológicas sostenibles y por último se ofrecerán los modelos matemáticos

generales asociados a este algoritmo (Pérez-Martínez et al., 2012; Pérez, Oquendo, & González, 2008).

Las etapas de localización están condicionadas para su resolución por factores que pueden ser cuantificables en términos económicos y otros cuya

incidencia puede solo ser medida considerando factores subjetivos. En la figura 1, se muestran algunos de los factores a considerar en la localización de una planta química (García, 2004). Pero además de estos nueve factores se deben considerar las características propias de cada proyecto (García, 2004).

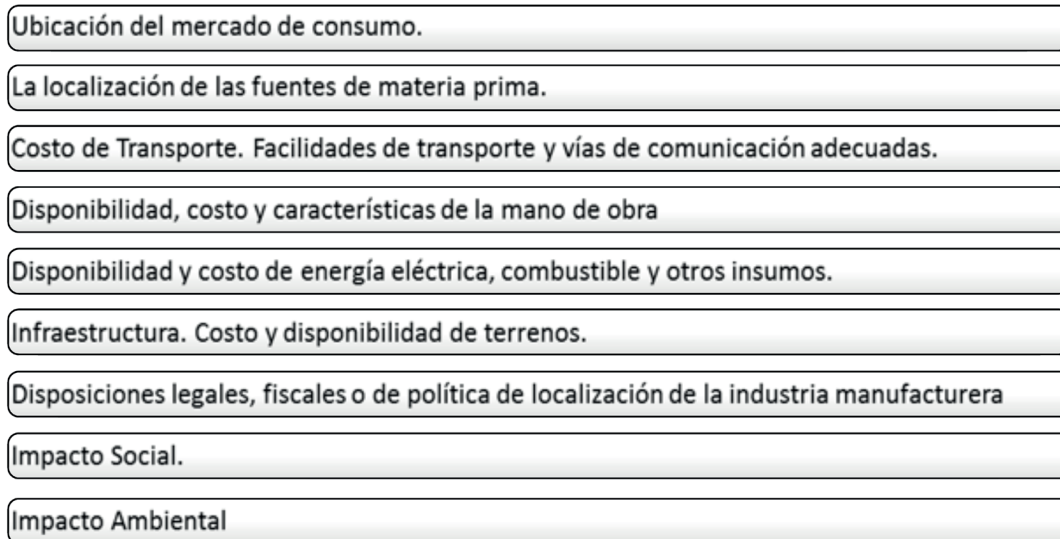


Figura 1. Factores a considerar en la localización de una planta química según (García, 2004).

Los estudios de macrolocalización constituyen una primera etapa en los estudios de localización de plantas, a su vez incluye la etapa posterior denominada microlocalización.

De los factores anteriores resulta de gran importancia para la macrolocalización la ubicación del mercado de consumo y la localización de las fuentes de materias primas.

Debe destacarse que los factores a tener en cuenta en la etapa de macrolocalización difieren de los que deben seguirse para una microlocalización. En general son

decisiones estratégicas muy importantes, de las cuales depende la eficiencia del proceso productivo y que cualquier error no es de fácil recuperación.

La finalidad de los estudios de macrolocalización es medir económicamente la conveniencia de unas frente a otras ubicaciones; es decir, elegir aquella que permita las mayores ganancias o los menores costos, entre las alternativas que se consideren factibles y se genere por tanto mayor rentabilidad.

Se han descrito varios métodos de evaluación para la localización como: el

método de cribado y el método cualitativo por puntos, método de Brown Gibson y el denominado de maximización del valor actual neto, entre otros (Figura 2). Son muy utilizados el método de transporte y el método del análisis de los costos.

El método del análisis de los costos se basa en la suma de los costos o ganancias de cada localización. Se deben seleccionar los factores para los cuales es posible determinar un costo o ganancia y se debe seleccionar aquella alternativa que presente menor costo o mayor beneficio.

El método de transporte es el método cuantitativo más comúnmente usado. Es una técnica matemática derivada de la Investigación de Operaciones cuyo objetivo fundamental es el de optimizar las actividades de localización y distribución. Este método es importante ya que puede solucionar casos en los cuales los costos de transporte de materias primas y la distribución de los productos son un problema para la localización de instalaciones de producción.

Independientemente del método seleccionado, cuando se trata de un análisis que tiene en cuenta la disponibilidad de materias primas, los niveles de las capacidades iniciales de acuerdo a las demandas del mercado, de su evolución y los parámetros financieros, deben considerarse las posibles fluctuaciones de estos factores. Por lo que para su mejor comprensión y obtener un resultado preciso se deben analizar teniendo en cuenta la incertidumbre que ellos generan (Y. Catá, González, González, & Pérez, 2006; Y. Catá, Pedraza, Rosa, & Castellanos, 2006; Oquendo & González, 2005; Pérez et al., 2008).

Esta tendencia está acorde al enfoque de los problemas de incertidumbre en la ingeniería de procesos, así como los principios metodológicos para su consideración en el diseño de nuevas instalaciones, los cuales se muestran en cuatro direcciones (Rudd & Watson, 1968) los cambios en la relación capacidad de producción instalada y demanda de productos, 2) el entorno, tanto económico como ambiental, 3) los parámetros tecnológicos, 4) la disponibilidad de los equipos.

En adición a estos aspectos se debe mencionar los estudios de la incertidumbre financiera (González et al., 2005; Oquendo & González, 2005), y en particular una visión novedosa de la consideración de la incertidumbre a los cambios futuros combinando los estudios de demanda de los productos, con los de disponibilidad de las materias primas considerando la incertidumbre financiera (Oquendo & González, 2005).

El objetivo del presente trabajo es demostrar conceptualmente la influencia de la macrolocalización en el diseño de procesos químicos y bioquímicos y su integración metodológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios de macrolocalización permiten de forma general tomar decisiones para estudios posteriores más profundos, siendo de gran utilidad en el campo de la planificación de la producción y la localización final de plantas.

Desde el punto de vista matemático estos se han derivado del problema clásico del transporte que constituyen una variante del problema lineal de optimización, en el que concurren variables enteras y continuas (Mayo, 1998; Pérez et al., 2008).

Existen situaciones en el diseño de nuevas plantas químicas donde es factible trabajar con funciones objetivos y restricciones, como por ejemplo en los problemas relacionados con la diversificación azucarera, y por tanto estos se pueden resolver con los métodos de programación lineal y los programas (software) existentes, los cuales cada día son más sencillos y asequibles.

En sentido general, se puede plantear el hecho de que varios autores han desarrollado algoritmos de cálculo para aplicar la programación lineal a problemas prácticos en el campo de la ingeniería

de procesos y todos coinciden en las ventajas de este método y sus amplias posibilidades, unido al desarrollo de programas de computación que facilitan considerablemente la utilización del mismo.

Otros se refieren también, a su utilización en problemas clásicos, como lo es, el de transporte, y en problemas de macrolocalización de plantas industriales, así como su empleo en problemas combinados, donde se utiliza la programación con enteros (Mayo, 1998; Oquendo & et al, 2001).

Dentro de los métodos más empleados están:

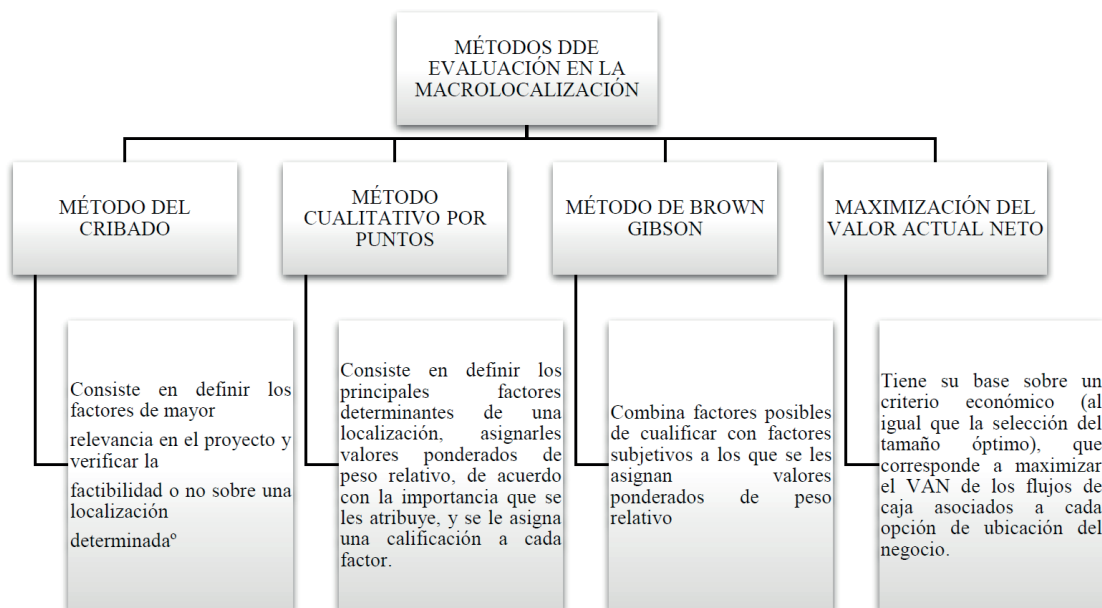


Figura 2. Métodos para determinar la localización de una planta.

Entre los programas de cómputo especializados se debe mencionar el GAMS, el MINUS, el el STORM, el MATLAB, el MILP y el SOLVER del EXCEL (Mayo, 1998). Algunos de ellos en determinados contextos pueden no ser asequibles, para estos casos el uso del EXCEL y el SOLVER pueden ser empleados en estudios macrolocalización de nuevas plantas de derivados y de

selección de alternativas de producción y propuestas de nuevos proyectos, para la solución de problemas de programación lineal mezclada con enteros a los problemas de ya sea por el criterio tradicional de costo mínimo de transporte o ampliando su utilización, cuando se emplean indicadores dinámicos de eficiencia de las inversiones (Oquendo & et al, 2001).

Consideraciones metodológicas de la macrolocalización en el diseño de proceso El diseño de proceso requiere seleccionar, a partir de un conjunto de posibilidades, aquellas alternativas que en base a un criterio predeterminado, cumplan con los objetivos deseados.

Constituye un reto el abordaje desde el punto de vista metodológico, ya que es complejo, dada la limitación práctica de implementar una herramienta efectiva, o un algoritmo de cálculo o procedimiento secuencial, que contemple simultáneamente todas las etapas y variables que intervienen en el diseño (Scenna, 1999).

Resulta aún más complejo el diseño de procesos químicos sostenibles debido a la complejidad y a lo multidimensional de la sostenibilidad.

En este sentido, a pesar de que han sido diseñadas diferentes metodologías en el mundo, para llevar a cabo el diseño de procesos (Biegler, Grossmann, & Westerberg, 1997; Cross, 1984; Douglas, 1988; Peters & Timmerhaus, 1991; Rudd & Watson, 1968; Ulrich, 1984), se necesita de su adecuación a diferentes contextos.

Por su parte, los estudios realizados sobre nuevos procesos químicos de la agroindustria en Cuba (Y.; Catá, 2006; Galindo, 2008; Ley Chong, 2006; Oquendo, 2002; Rosa, 1996; Santos, 1999) presentan soluciones metodológicas que abordan algunos aspectos del diseño de procesos químicos, como son la estimación de capacidad, la macrolocalización, la disponibilidad del equipamiento y más recientemente el estudio de otros elementos que contribuyan a la sostenibilidad, como la dimensión social y ambiental, aspectos

técnicos como el control automático de procesos y un conjunto de indicadores de naturaleza cuantitativa que faciliten la evaluación.

El abordaje investigativo referente a las tareas que están involucradas en el diseño de proceso, puede seguir varios enfoques. Sin embargo, nos referiremos al planteado por Pérez y col (2012), que considera el hecho de un diseño con un carácter sostenible, fácil de adecuar a diferentes contextos y con un mínimo de recursos computacionales para llevarlo a cabo (Pérez-Martínez et al., 2012)

Se propone utilizar la metodología planteada en la figura 3. En el rango de estudios que incluyen estos cuatro pasos del algoritmo, antes de la macrolocalización los diseñadores cuentan con:

- a.** el producto que se demanda, su cantidad y sus criterios de calidad, así como la tecnología, las materias primas (fuente y calidad), la energía (fuente).
- b.** la tecnología asociada al producto demandado, el esquema tecnológico utilizando el diagrama de flujo como simbolismo esquemático para visualizar la topología (esquema estructural del proceso),
- c.** la capacidad de la planta a partir de la demanda del mercado y la disponibilidad de materias primas y su incertidumbre financiera, a partir del método propuesto por (Mayo, 1998; Rudd & Watson, 1968). Además de los valores asociados a los indicadores sociales (nivel de satisfacción de la demanda y el número de trabajadores) mediante el método propuesto por (Peters & Timmerhaus, 1991).

La realización del estudio de macrolocalización tiene como objetivo determinar el costo de transporte mínimo, garantizando una distribución óptima de materias primas y productos terminados. El método y la herramienta informática (Altern v3.0) que se sugiere es el propuesto por (Pérez et al., 2008) (Figura 4).

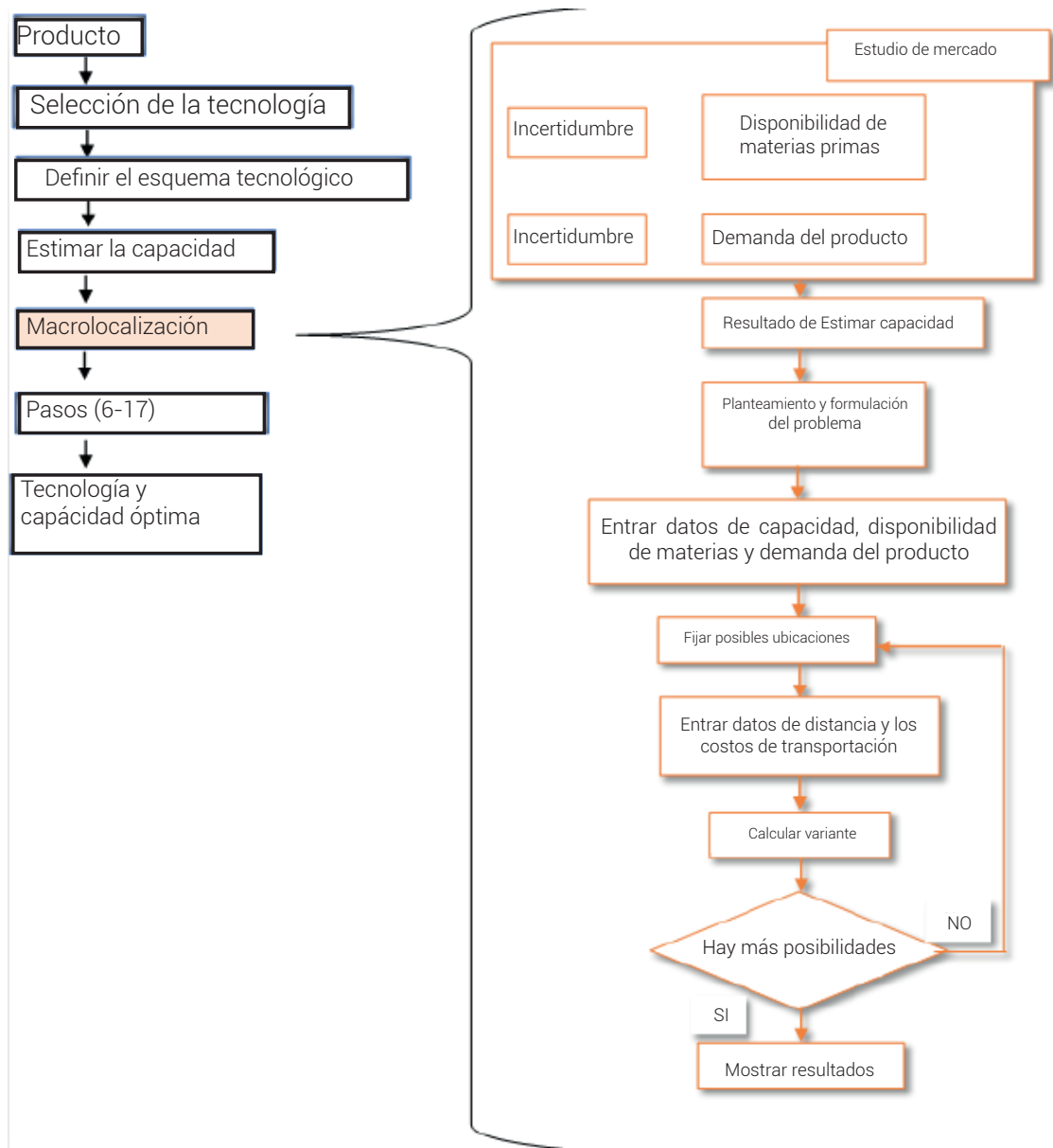


Figura 3. Procedimiento general para el diseño de alternativas tecnológicas y algoritmo detallado del estudio de macrolocalización (Pérez et al., 2008)

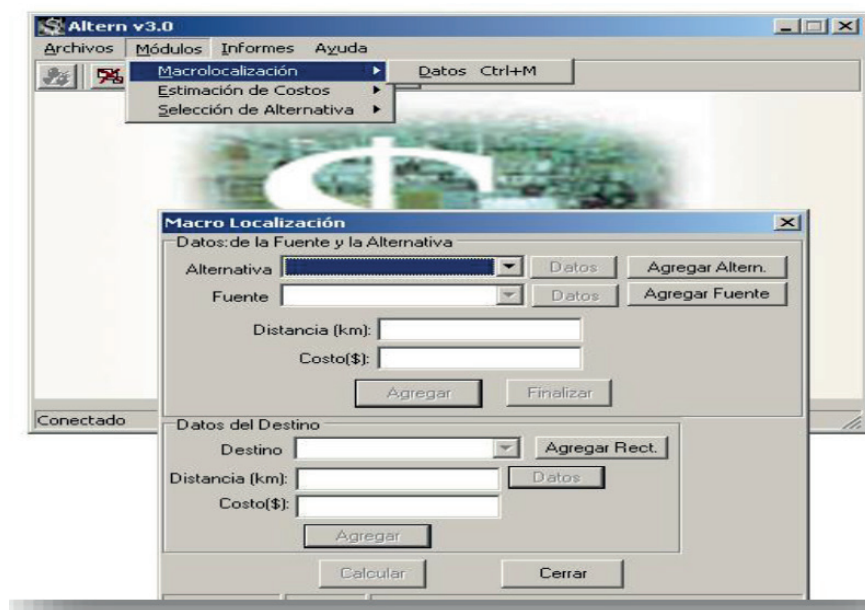


Figura 4. Interfaz para los estudios de macrolocalización del software Altern v3.0

Se propone tener en cuenta, para un estudio de este tipo, los factores que más influyen como son: a) la demanda del mercado y sus cambios en el futuro, b) la incertidumbre en las disponibilidades de materias primas, c) las disponibilidades de tecnologías para diferentes procesos, d) los costos de transportación de las materias primas y los productos terminados.

Estos factores pueden cuantificarse a través de la formulación de un problema lineal de optimización, donde la función objetivo es el costo de transportación y las variables a determinar son la cantidad de materia prima y el producto líder a distribuir propuesto por (Pérez et al., 2008).

Descripción de los pasos a seguir en la macrolocalización:

En la Figura 3 los pasos específicos para llevar a cabo la macrolocalización se han detallado y se derivan del procedimiento general.

Del conjunto de acciones que deben realizarse, el planteamiento y formulación del

problema, tienen un gran peso porque inciden directamente en un buen resultado. Este paso consta de dos momentos que se describen a continuación:

El planteamiento del problema se debe realizar de forma sencilla y debe estar explícitamente cuál es su objetivo.

La formulación del problema se realiza con el objetivo de minimizar el costo de transportación, se ha de determinar las posibles restricciones que acoten a la función objetivo.

Por lo tanto la función objetivo consta de elementos como: el costo de transportación de la materia prima y los productos, las cantidades de materia prima que se van a transportar desde la fuente hasta la alternativa de macrolocalización que se está analizando y la cantidad de producto que se va a transportar desde la alternativa hasta los destinos.

La función objetivo no es más que la sumatoria de los costos de transporte tanto de las materias primas como la de los productos

terminados por las cantidades de cada una. Las restricciones de disponibilidad de la materia prima, demanda de materia prima y producto terminado.

Después de obtener la función objetivo y las restricciones para el caso objeto de análisis, el siguiente paso es la entrada de los datos de capacidad de la planta que se quiere macrolocalizar, y los datos de disponibilidad de materias primas y la demanda de los productos por los puntos de almacenamiento.

Este es el primer paso del ciclo que se va a repetir hasta que se hayan calculados todos las posibles alternativas de macrolocalización que se encuentren bajo estudio y es donde se fija la capacidad de la planta.

El próximo paso dentro del ciclo es la entrada de los datos de costo de transportación que se esté analizando. Después de tener toda la información necesaria se procede a calcular la variante.

Es en este paso donde se obtiene el valor de la función objetivo y que no es más que el costo mínimo de transportación para este caso, como se define en el paso de formulación del problema.

El último paso del ciclo es donde se plantea la condición si hay más posibilidades de ubicación para la planta en dependencia de la respuesta a esa condición se retornará a fijar la nueva posición de la planta y se repetirán los mismos pasos que se han analizado.

En caso de que las posibilidades se haya agotado se pasara a mostrar los resultados e identificar cual es la mejor ubicación de la planta obtenido durante el proceso de macrolocalización.

Una vez analizada la variante óptima de macrolocalización, el diseño de la alternativa tecnológica puede continuar hace nuevas etapas definidas en el procedimiento general (diagrama de bloques de la izquierda de la Figura 3). En la Tabla 1 se puede observar el flujo de información del procedimiento.

Nótese que el estudio de macrolocalización resulta vital conocer la capacidad de la planta y una vez concluido, se aporta al diseño la variante óptima de la cantidad de materias primas disponibles y su costo de transportación, bajo condiciones de incertidumbre.

TABLA 1: Variables de entrada y salida en cada de cada uno de pasos de la metodología propuesta por Perez y col (2012) antes de la macrolocalización (Pérez-Martínez et al., 2012).

Entrada	Pasos	Salida
<i>Cantidad de demanda</i>	<i>Producto seleccionado</i>	<i>Cantidad de demanda</i>
<i>Materias primas</i>		<i>Materias primas</i>
<i>Tecnologías</i>		<i>Tecnologías</i>
<i>Tecnologías</i>	<i>Selección de tecnología</i>	<i>Tecnología</i>
<i>Tecnología</i>	<i>Definir esquema tecnológico</i>	<i>Diagrama de procesos</i>
<i>Cantidad de demanda</i>	<i>Estimación de Capacidad</i>	<i>Capacidad de la planta</i>
		<i>Nivel de satisfacción de la demanda</i>
		<i>Número de trabajadores</i>
<i>Capacidad de la planta</i>	<i>Macrolocalización</i>	<i>Cantidad de materias primas disponible</i>
		<i>Costo de Transportación materias primas</i>

RESULTADOS

Se presenta cómo queda formulado el problema de macrolocalización para el diseño de la planta en cuestión.

La macrolocalización es tratada como un problema de programación lineal mezclada con enteros, donde la función objetivo queda expresada como (Oquendo, 2002; Pérez et al., 2008).

Se puede formular el problema de macrolocalización atendiendo al costo mínimo de transportación.

El esquema representado en la Figura 5 puede servir de guía para plantear las ecuaciones correspondientes.

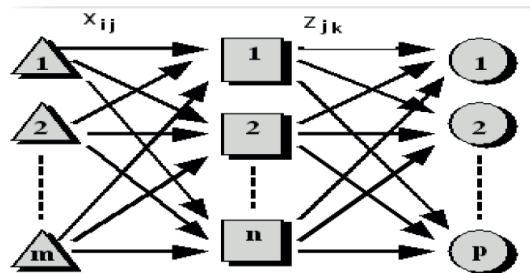


Figura 5. Esquema de un problema de macrolocalización(Mayo, 1998).

La función objetivo puede expresarse por la siguiente ecuación:

$$FO = \sum_I \sum_J X_{IJ} * CT_{IJ} + \sum_J \sum_K Z_{JK} * CT_{JK} \quad (1)$$

Donde:

X_{IJ} es la cantidad de materia prima transportada desde la fuente de materia prima hasta la alternativa que se analizando

CT_{IJ} es el costo de transportación de la materia prima transportada desde la fuente de materia prima hasta la alternativa que se analizando en \$ /Kg*m

Z_{JK} es la cantidad de producto transportado desde la alternativa hasta la fuente de almacenamiento CT_{JK} es el costo de transportación del de producto transportado desde la alternativa hasta la fuente de almacenamiento, en \$/Kg*m.

Las restricciones que acotan la función objetivo se pueden agrupar en: disponibilidad de materias primas, demanda de materias primas, distribución de producto, capacidad de almacenamiento de los destinos y las variables enteras.

Las expresiones matemáticas para determinar la disponibilidad de materia prima se pueden obtener al utilizar la siguiente expresión:

$$\sum_I \sum_J X_{IJ} \leq DMP_I \quad (2)$$

Donde:

DMP_I es la cantidad de materia prima disponible en la fuente I X_{IJ} es la cantidad de materia prima transportada desde la fuente de materia prima hasta la alternativa que se analizando.

Para las de demanda de materia prima puede emplearse la fórmula:

$$\sum_J \sum_I X_{JI} = CPA_J * Y_J \quad (3)$$

Donde:

CPA_J es la capacidad de producción de la planta J X_{IJ} es la cantidad de materia prima transportada desde la fuente de materia prima hasta la alternativa que se analizando

Y_J es la variable entera que significa la posible ubicación de la planta que este siendo macrolocalizada.

Para las de distribución puede emplearse la fórmula:

$$CPA_J \leq \sum_J \sum_K Z_{JK} \quad (4)$$

Donde:

CPAJ es la capacidad de producción de la planta J

ZJK es la cantidad de producto transportado desde la alternativa que se analizando hasta el destino de almacenamiento.

Para las de Capacidad de Almacenamiento puede emplearse la fórmula:

$$\sum_K \sum_J Z_{KJ} \leq CA_K \quad (5)$$

Dónde: CA_K es la capacidad de almacenamiento del destino K

ZKJ es la cantidad de producto transportado desde la alternativa que se analizando hasta el destino de almacenamiento.

Para las variables enteras se emplea la fórmula:

$$\sum Y_J = 1 \quad (6)$$

Dónde: Y_J es la variable entera que significa la posible ubicación de la planta que este siendo macrolocalizada.

Como resultados se obtiene la mejor variante de localización para la planta y la distribución óptima de materias primas (mieles, bagazo..) y la distribución de los productos derivados obtenidos.

CONCLUSIONES

1. En los estudios previos inversionistas relacionados con la diversificación azucarera, la macrolocalización de las plantas es muy importante, así como

el considerar los factores que inciden directamente en el análisis de las mejores alternativas: el mercado, la materia prima, el costo de transporte, la disponibilidad de mano de obra, la disponibilidad de la energía y otros insumos, el impacto social, el ambiental y la incertidumbre concerniente a todos estos factores.

2. Existen métodos cualitativos y cuantitativos para determinar la localización de una planta y todos son importantes, se recomienda utilizarlos como sistema, de forma tal que se realice el análisis cuantitativo, que siempre aporta el elemento matemático, y los cualitativos, no menos importantes pues permiten involucrar elementos objetivos y subjetivos imprescindibles para completar un análisis de alternativas.

3. De los métodos cuantitativos se sugiere el método de transporte, la programación lineal mezclada con enteros por ser una poderosa herramienta y el SOLVER del EXCEL por su sencillez y ser asequible a todos los usuarios. Se brinda un procedimiento general para el diseño de alternativas tecnológicas y algoritmo detallado del estudio de macrolocalización de las plantas de derivados de la caña de azúcar.

4. Sepresenta la formulación del problema de programación lineal mezclado con enteros para un estudio de macrolocalización de plantas de derivados de la caña de azúcar, que puede ser empleado en el estudio de múltiples alternativas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Biegler, L., Grossmann, I., & Westerberg, A. W. (1997). Systematic Methods of Chemical Process Design. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall.

- Catá, Y. (2006). Consideración de la incertidumbre en la integración de procesos en la industria de la caña de azúcar y sus derivados. (Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad Central "Martha Abreu" de las Villas, Santa Clara.
- Catá, Y., González, E., González, M., & Pérez, P. (2006). Consideración de la incertidumbre en los balances de masa y energía en un complejo integrado. *Revista Cubana de Química*, 18, 185.
- Catá, Y., Pedraza, J., Rosa, E., & Castellanos, J. (2006). Metodología para la integración de la incertidumbre en la integración de procesos para la producción de biocombustibles. In E. González (Ed.), *La integración de procesos en la producción de biocombustibles* (pp. 67-94). Buenos Aires: CYTED.
- Cross, N. (1984). *Developments in Design Methodology*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Douglas, J. M. (1988). *Conceptual Design of Chemical Process*. New York: McGraw-Hill.
- Galindo, P. (2008). El Análisis de Procesos en la búsqueda de tecnologías más limpias. (Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas (PhD), Universidad de Camagüey, Cuba.
- García, F. A. (2004). Apuntes sobre localización de instalaciones. 2007, from <http://webdelprofesor.ula.ve/economia/>
- González, E., Pedraza, J., Rosa, E., García, A., Rodríguez, I., & Gallardo, I. (2005). Vías para el diseño de nuevas instalaciones de la industria de procesos químicos fermentativos y farmacéuticos. La Habana: Científico-Técnica.
- Ley Chong, N. (2006). Contribución a los métodos de asimilar tecnologías aplicado a un proceso de producción de biocombustibles. (Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas), UCLV, Santa Clara.
- Mayo, O. (1998). *Técnicas básicas de optimización*. La Habana.
- Oquendo, H. (2002). Consideración de la incertidumbre de la demanda y la disponibilidad de las materias primas en la determinación de las nuevas capacidades de producción de derivados de la caña de azúcar. (Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad de Camagüey, Cuba.
- Oquendo, H., & et al. (2001). Aplicación de la programación lineal para determinar la macrolocalización de una planta de alcohol en la provincia de Camagüey. *Revista Centro Azúcar*, 2, 23-26.
- Oquendo, H., & González, E. (2005). Consideración de la incertidumbre en el desarrollo de un proceso inversionista. In E. González (Ed.), *Vías para el diseño de nuevas instalaciones de la industria de procesos químicos fermentativos y farmacéuticos* (pp. 245-262). La Habana: Científico-Técnica.
- Pérez-Martínez, A., Cervantes, E., Julian, M. C., González, E., Gómez, A., Oquendo, H., Ramos, L. (2012). Procedimiento para enfrentar tareas de diseño de procesos de la industria azucarera y sus derivados. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(2), 333-349.
- Pérez, A., Oquendo, H., & González, E. (2008). Metodología para la macrolocalización de plantas de la industria de procesos,

considerando la incertidumbre y la integración de estos. Revista Centro Azúcar, Volumen-2008(3).

Peters, S., & Timmerhaus, K. (1991). Plant Design and Economics for Chemical Engineers. (5ta ed. Vol. Fourth Edition). Singapore: McGraw-Hill Chemical Engineering Series.

Rosa, E. (1996). Análisis de alternativas de inversión en la industria química considerando la fiabilidad de los equipos. (Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad Central "Martha Abreu" de las Villas, Santa Clara, Cuba.

Rudd, D., & Watson, C. (1968). Strategy of Process Engineering. New York: Wiley.

Santos, R. (1999). Análisis de alternativas para reactivación de las plantas de Torula. (Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas), UCLV.

Scenna, N. J. (1999). Modelado, simulación y optimización de procesos químicos (2da Edición ed.).

Ulrich, G. D. (1984). A Guide IO Chemical Engineering Process Design and Economics. New York: John Wiley and Sons, Inc.

CORRESPONDENCIA

Dra. Hilda Oquendo Ferrer
hilda.oquendo@reduc.edu.cu