

EVALUACION DE ESTRATEGIAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE FERTILIZANTES FOSFORADOS EN COLOMBIA

Irene Tischer.
Estudiante de Postgrado en
Ingeniería de Sistemas.
Universidad del Valle.
Cali - Colombia.

1. INTRODUCCION

El crecimiento de la población de Latino-América requiere varias medidas en el sector agrario, para garantizar la alimentación en el futuro. Un papel importante entre estas medidas juega el empleo apropiado de fertilizantes; como en los suelos agrarios se pierde el balance natural de elementos nutritivos para las plantas, hay que adicionarlos en forma de fertilizantes, para poder asegurar el rendimiento agrario.

Los fertilizantes consisten en una combinación de nutrientes para la planta. Los elementos necesarios en mayor cantidad son el nitrógeno, el fósforo y el potasio.

El fósforo merece una consideración especial en Latino-América: Como los suelos tropicales son generalmente ácidos, ligan mucho fósforo, cantidad que la planta no puede asimilar. Por eso requieren en alto grado abonamiento con productos fosforados.

El fósforo en bruto, básicamente de origen marítimo, se encuentra en yacimientos grandes. Los países explotadores de fósforo más importantes son actualmente los Estados Unidos, la Unión Soviética y Marruecos con una participación del 73% de la explotación mundial. Los países latino-americanos dependen mucho de la importación de fósforo, aunque ellos mismos disponen de yacimientos grandes.

Con el objetivo de ayudar a estos países en el desarrollo

de estrategias de fertilizantes, haciendo énfasis en el uso de fuentes nacionales, el CIAT* y el IFDC* empezaron en el año 1975 el Proyecto Fósforo. Colombia fué seleccionado para un estudio detallado, porque respondió con gran interés oficial al desarrollo de fuentes nacionales de fósforo.

En el marco de este estudio se elaboró un trabajo de tesis. Su objetivo era el desarrollo y la evaluación de un modelo matemático, que permita el análisis de diferentes estrategias relacionadas con el abastecimiento de fertilizantes en Colombia. A continuación se dá un resumen del trabajo.

2. LA SITUACION EN COLOMBIA.

Colombia es un país agrario, Un 30% de su fuerza de trabajo se dedica a este sector. Los productos agrarios totalizan un 65% de la exportaciones totales, la balanza de pagos en este sector es positiva.

* CIAT : Centro Internacional de Agricultura Tropical -
Palmira

* IFDC : International Fertilizer Development Center.

Industria Nacional de Fertilizantes.

Colombia tiene yacimientos amplios de fósforo, en los cuales se explotan en el momento tres minas, situadas en Boyacá, NorteSantander y en el Huila. Las tres minas tienen las instalaciones para moler la roca cruda, proceso que permite usar la roca fosfórica para la producción de otros fertilizantes y también directamente como un fertilizante, barato pero poco concentrado; las rocas fosfóricas de las minas diferentes tienen entre 22 y 26% de fósforo.

La industria más importante de fertilizantes se encuentra en la Costa Atlántica, puesto que depende en alto grado de la importación de las materias primas requeridas. Las dos plantas allí producen fertilizantes multinutrientes, fertilizantes que contienen una combinación de nutrientes adaptada al uso bajo condiciones específicas de cultivo y suelo.

Otra planta se encuentra en Barrancabermeja, pues allí se usa el petróleo para la producción de fertilizantes nitrogenados.

En Belencito, Boy. se producen fertilizantes fosforados como subproducto del hierro y del acero.

Importación.

La capacidad de la producción nacional no alcanza a cumplir la demanda. Por eso, Colombia depende mucho de la importación tanto de materias primas como de fertilizantes terminados. Los puertos más importantes son Barranquilla, Cartagena y Buenaventura.

Como no hay fuentes nacionales de potasio y no hay planes reales de aumentar la capacidad de producción de fertilizantes multinutrientes ni nitrogenados, queda el sector de fertilizantes fosforados, donde se podrían tomar decisiones respecto a medidas de reducir la importación.

Proyectos Posibles.

Una planta, que refina la roca fosfórica, por procesos de acidulación o de mezcla con productos fosforados, requiere una inversión relativamente baja. La mejor ubicación de tal planta sería al lado de una mina. Para ella se ofrecen en el momento tres posibles proyectos.

Consumo.

La aplicación apropiada de fertilizantes básicamente no

depende del uso de productos determinados; lo importante es, que se apliquen los nutrientes en la combinación necesaria. En la selección de los productos determinados se desarrollaron tácticas diferentes según consumidor. En las fincas pequeñas se prefieren generalmente los fertilizantes multinutrientes, que permiten aplicar todos los nutrientes necesarios para el cultivo en un solo proceso; en las fincas de áreas grandes prefieren los fertilizantes no-compuestos, puesto que permiten escoger tiempo y dosificación individual según necesidades de cultivo y suelo.

Suministro.

Debido a la gran extensión de Colombia, las preguntas de transporte son muy importantes. A pesar de ser el más costoso, el transporte terrestre es el más utilizado. La red ferroviaria es incompleta y se encuentra en mal estado. El río Magdalena se ofrece como alternativa económica entre la Costa Atlántica y el interior del país.

Un modelo matemático del abastecimiento con fertilizantes ayuda a analizar el aspecto económico del programa. Haciendo énfasis en los problemas de importación y de transporte se pueden evaluar posibles estrategias relacionadas con el abastecimiento en el futuro.

3. METODOLOGIA E IMPLANTACION

El Método Seleccionado.

Un acceso moderno a la solución de problemas relacionados con el abastecimiento de fertilizantes ofrece la optimización lineal. Es preferible a otros métodos por las siguientes razones:

- El problema es de naturaleza económica.
- El problema general se divide en varios subproblemas, como producción, importación, transporte y consumo, los cuales se describen relativamente fácil en el contexto de la optimización lineal.
- Los subproblemas son sumamente dependientes entre sí; cambios en la especificación de uno afectan los demás. Por eso no es posible resolverlos independientemente.

Implantación.

Puesto que se trata de un problema de optimización lineal entera, se escogió el paquete TEMPO, que ofrece varios algoritmos para resolver y modificar problemas de este tipo. La optimización entera está basada en el método

do simplex y en el algoritmo de ramas y límite.

Se completó el trabajo con programas adicionales de entrada de datos, generación de matriz, de salida de datos y de la solución, todos escritos en PASCAL.

4. EL MODELO.

El modelo de optimización lineal debe ser de tipo dinámico entero, puesto que se trata del estudio del sistema durante varios años, que incluye posibles decisiones en pro o en contra de los proyectos.

Supuestos Generales.

Aunque interesan básicamente los fertilizantes fosforados, es necesario incluir todos los productos, dada la alta relación en el consumo y teniendo en cuenta el aspecto económico.

No se considera la importación de materias primas, los costos se basan en los precios de venta.

El lapso de tiempo en consideración comprende los años 1988-99. Para reducir el tamaño del modelo, se consideró períodos de tres años y se restringió a regiones de consumo, y concretamente a sus centros comerciales como destinos del transporte.

Estructura de la matriz:

Los diferentes períodos inducen submatrices independientes, solamente relacionadas por la función objetivo.

Dentro de un período, se puede descomponer la matriz por los subsistemas de producción, de importación, de proyectos posibles, de transporte y de consumo. Los subsistemas diferentes se conectan por el subsistema de transporte y también por la función objetivo.

Las Actividades del Modelo.

La mayoría de las actividades son cuantitativas:

Producción:

La cantidad a producir en una planta dada de un fertilizante dado, durante un período de tiempo dado.

Importación:

La cantidad a importar de un fertilizante por uno de los tres puertos en consideración, en un período dado.

Consumo:

La cantidad a consumir por período, fertilizante y región de consumo dado.

Transporte:

La cantidad a transportar de un fertilizante en un período dado, dependiendo del origen, del destino y la ruta usada.

Para cada proyecto posible se introdujo una actividad de decisión de tipo entero binario.

La Función Objetivo.

La función objetivo describe el costo total del suministro con fertilizantes. El costo total se compone de los costos respectivos de producción, de importación, de transporte y de las inversiones necesarias para proyectos realizados.

Como los costos ocurren en diferentes períodos de tiempo, se considera su valor neto del año 1985, con la convención de la mitad del período.

La Restricciones.

Las restricciones del modelo se van a describir respecto a los subsistemas diferentes. Cada tipo de restricción tiene que generarse para todos los períodos en consideración.

Producción.

La producción está restringida por la capacidad.

$$\text{Producción} \leq \text{Capacidad} \\ (=)$$

En el caso de los proyectos interviene la actividad de decisión respectiva:

$$\text{Producción} \leq \text{Capacidad} * \text{Decisión respecto al proyecto.} \\ (=)$$

(Las igualdades corresponden al caso que se pide producción a plena capacidad).

Importación.

Las restricciones a la importación se hacen con base en los nutrientes, para no perder la flexibilidad de poder escoger entre diferentes productos. La cantidad del fósforo importado no debe superar un límite dado, que se especifica como porcentaje de la demanda total de este nutriente.

$$\sum \text{contenido de fósforo} * \text{Importación}$$

Fertilizantes importados,
puertos

$$\leq \text{Límite de importación dado.}$$

Consumo.

El consumo regional de los fertilizantes está dirigido por nutrientes, como en realidad no importa tanto la decisión para un producto determinado, sino la aplicación de los nutrientes necesarios. Para cada nutriente está dada la demanda total y su distribución en las diferentes regiones.

Las restricciones, que balancean el consumo respecto a los nutrientes en cada región, se formulan:

$$\sum \text{Contenido de nutriente} * \text{Consumo}$$

Fertilizantes

$$\geq \text{Demanda regional de nutriente.}$$

El consumo de la roca fosfórica se tiene que limitar en Boyacá y en los llanos Orientales; por razones agrarias, ahí no se deben usar más del 20% (40%) del total del fósforo en forma de roca. Para estas regiones se obtiene:

$$\sum \text{Contenido de fósforo} * \text{Consumo}$$

Tipos de roca
fosfórica

$$\leq \text{Límite de consumo dado.}$$

A la alta demanda dada de productos multinutrientes se responde, fijando el consumo total de estos fertilizantes:

$$\sum \text{Consumo del fertilizante}$$

regiones

$$\geq \text{Demanda total del fertilizante.}$$

En algunas regiones hay - según el cultivo (por ejemplo el café) - una alta demanda de estos fertilizantes multinutrientes. En este caso se formula:

Consumo regional del fertilizante.

$$\geq \text{Demanda regional del fertilizante.}$$

(La demanda regional de un producto está dada por porcentaje de la demanda total).

Transporte.

Por el subsistema de transporte se conectan todos los subsistemas considerados hasta ahora (que hasta el momento son mutuamente independientes y solamente relacionados por la función objetivo).

En los orígenes no se mantienen inventarios, todos los fertilizantes allí o se consumen en una de las regiones diferentes o se gastan como materia prima en la producción de otro producto:

Para cada origen y cada fertilizante en el origen se formula:

$$\sum \text{Producción}$$

plantas y proyectos
en el origen

$$+ \text{Importación.}$$
$$+ \text{Materia Prima.}$$

$$- \sum \text{Transporte vía ruta} = 0$$

destinos
rutas entre origen y destino

En los destinos tampoco se mantienen inventarios, todos los fertilizantes que llegan, se gastan:

Para cada destino y cada fertilizante se formula:

$$\text{Consumo} - \sum \text{Transporte vía ruta} = 0$$

orígenes
rutas dadas entre origen y destino

Proyectos.

Las variables de decisión toman valores 0 ó 1.

Positividad.

Todas las actividades son positivas.

5. APLICACIONES DEL MODELO TEORICO Y RESULTADOS.

Modelo Básico.

La primera aplicación no restringe la importación y se consideran solamente las rutas terrestres. Sirve como base de comparación para las demás variantes.

Resultados:

- La producción nacional es más barata que la importación (todas las plantas trabajan a capacidad).
- Los proyectos no están en el esquema óptimo.
- Se depende en alto grado de la importación del fósforo (16, 24, 32, 40% de la demanda total en los periodos diferentes). El puerto más importante es Buenaventura (Cartagena no se usa y Barranquilla poco).
- El transporte influye fuertemente en el esquema óptimo. Mientras los costos de transportar un producto de su origen hasta uno de los destinos pueden aumentar el precio en el destino en más de un 50%, el costo promedio de transporte, en el modelo básico, es solamente 9.54% del precio del producto en el origen.

Modelos de Transporte.

Para poder estudiar la influencia de diversas vías de transporte se variaron sucesivamente las posibles rutas (Río Magdalena, Red actual de ferrocarril, Red ferroviaria mejorada).

Resultados:

- Se confirma la alta influencia que tiene el esquema de distribución en los costos de transporte.
- Las rutas que conectan los puertos con los centros de consumo son las más importantes: con las rutas fluviales se vuelve Barranquilla más importante (Cartagena no por la competencia con Barranquilla),

se reduce el costo de transporte del 9.5% al 8.9% del costo total de producción e importación. También en las demás variaciones influyen mucho las rutas entre puerto y centro del país. Permiten reducir los costos de transporte hasta un 8.6%.

- Debido a las mejores comunicaciones fluviales y ferroviarias, resulta un mejor esquema de importación el no depender tanto de Buenaventura con sus costos más altos de importación. (Más de un 25% del mejoramiento de la introducción de las rutas fluviales se debe a una reducción del costo de importación).

Modelos de Importación Restringida

La intención fue, bajar en varios pasos sucesivos los límites de importación del fósforo. Por los resultados ya de la primera etapa se redujo el número de las variantes necesarias:

Resultados:

- Limitando la importación a cualquier límite debajo de los límites dados por la solución óptima, hay que realizar uno (o varios) proyectos, puesto que la producción nacional óptima ya está a capacidad antes de limitar la importación (en todas las variantes descritas anteriormente).
- Reduciendo el límite de importación del fósforo en menos de 1% en cada periodo, se bajó el nivel de importación drásticamente (casi a 0). Por eso es suficiente estudiar solamente dos variantes de importación: el esquema óptimo, desviándose muy poco del grado de importación obtenido por la solución sin restricción y el esquema óptimo en el caso de no permitir importación ninguna de fósforo.
- Una vez establecido un proyecto, se produce la cantidad necesaria del fertilizante nuevo para compensar la importación del fósforo, hasta donde la capacidad de la mina respectiva lo permita. Son dos las razones: de un lado, el costo relativamente bajo de producción del producto nuevo, del otro la ubicación muy central de los proyectos, que reduce los costos de transporte.
- Se obtiene los siguientes efectos al esquema de costos:

En el costo total influyen las inversiones necesarias, pero al otro lado se reduce el costo total de importación y producción, así mismo como el costo total de transporte. Comparando los costos totales se puede hablar de una amortización de la inver-

sión necesaria de un 58% (en el caso de realizar un proyecto) respectivamente 33% (para dos proyectos).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El trabajo consiste en la evaluación económica de estrategias para el abastecimiento con fertilizantes. Por eso, las posibles recomendaciones y conclusiones favorecen el aspecto económico. Para poder tomar decisiones concretas se tienen que comprobar los resultados obtenidos en un contexto socio-económico más general.

Transporte.

El transporte tiene alta influencia sobre el mejor esquema de abastecimiento con fertilizantes. Políticas, que informan al consumidor sobre la participación del transporte en el precio final de los productos y sobre posibles alternativas en el consumo de fertilizantes, pueden llegar a un comportamiento del consumidor, que se acerca más al esquema óptimo.

Las recomendaciones respecto al uso y al mejoramiento de las redes diferentes de tráfico, son las siguientes:

- Las rutas más importantes son aquellas que conectan los puertos con los diferentes destinos. Un mejoramiento de estas rutas afecta en alto grado el esquema de costos mínimos.
- Comunicaciones que eliminan los manipuleos, especialmente en distancias cortas y medianas, son muy favorables.

Proyectos.

Dados los costos obtenidos en el modelo básico y en las variantes que limitan la importación, no se justifica la realización de un proyecto desde el punto de vista puramente económico. Sin embargo, en un contexto más amplio sí se recomienda la consideración del proyecto situado en Boyacá por las siguientes razones:

- Es un aporte a la industria nacional con todos los efectos positivos socio-económicos.
- La inversión no es muy alta, puesto que la planta nueva permite un mejor esquema de producción e importación.
- Con el proyecto nuevo, Colombia puede independizarse en alto grado de la importación de fer-

tilizantes fosforados.

Producción Nacional de Rocas Fosfóricas.

La producción de rocas fosfóricas está a capacidad en todas las variantes estudiadas, lo que indica la alta utilidad de la roca fosfórica en el esquema óptimo. Por eso, se recomienda la consideración de un aumento de la capacidad de las minas de roca fosfórica, si la inversión necesaria no es demasiado alta. Una cantidad más alta de este producto se podría utilizar como fertilizante fosforado o, en caso de realizar un proyecto, como materia prima para fertilizantes de calidad más alta.

BIBLIOGRAFIA

Banco Mundial, Ministerio de Agricultura. *Estudio sobre transporte y distribución de fertilizantes en Colombia*. 1984.

Choksi A. M., Meerans A. et al. *The Planning of Investment Programs in the Fertilizer Industry*. 1980.

Collatz L., Wetterling W. *Optimierungsaufgaben*. 1966.

Van Bremen L., Chuang Y. H. et al. *Economic Evaluation of Fertilizer Supply Strategies for the ASEAN Region*. 1981.

Fenster W. E., León L. A. *Management of Phosphorus Fertilization in Establishing and Maintaining Improved Pastures on Acid, Infertile Soils of Tropical America*.

IFDC / CIAT Phosphorus Project. *The Phosphate Fertilizer Sector in Colombia - Supply Alternatives and Policy Options*. Cali, 1987.

IFDC, United Nations Industrial Development Organization. *Fertilizer Manual*. 1967.

Khasawhen E. F. et al. *The Role of Phosphorus in Agriculture*. IFDC, 1976.

Mackean D. G. *Einführung in die Biologie* 1. 1970.

Tischer I., *Evaluación de estrategias para el abastecimiento de fertilizantes fosforados en Colombia*. Tesis, Universidad del Valle, Magister en Ingeniería Industrial y Sistemas, 1988.

Varela R.V. *Evaluación Económica de Alternativas Operacionales y Proyectos de Inversión*. 1982.