

## MODELO DE PROGRAMACION POR OBJETIVOS PARA LA PLANEACION DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO FORESTAL

Rafael MORENO SANCHEZ \*

### RESUMEN

En el presente artículo se presenta el uso complementario de la programación lineal (PL) y la programación por objetivos (PO) para el análisis de un sistema de abastecimiento forestal. Por medio de la PL se optimizan los objetivos considerados en la planeación anual de las actividades de abastecimiento. Si después de esta optimización los objetivos no entran en conflicto, se habrá llegado a un plan óptimo. Si los objetivos entran en conflicto, se formula un modelo de PO, el cual hace uso de los resultados de los modelos de PL como los niveles deseados para cada objetivo. Se concluye que la PL y PO son poderosas herramientas en el análisis de sistemas de abastecimiento de grandes dimensiones y complejidad. Se considera que por medio del uso inteligente de la PL y con bastante análisis de sensibilidad, se pueden alcanzar las mismas ventajas que caracterizan a la PO.

### SUMMARY

In this article a complementary use of linear (LP) and goal (GP) programming is presented in analyzing a logging system. Through LP the different objectives considered in the annual planning of the logging operations are optimized. If after this optimization the objectives are not in conflict with each other, we would have arrived to the optimal plan. If conflicts exist a GP model is formulated in which the results from the LP models are used as the desired levels for the objectives. It is concluded that LP and GP are powerful tools in analyzing logging system of large dimensions. It is considered that through the skillfull use of LP the same benefits obtained through GP can be achieved.

### INTRODUCCION

En años recientes el uso de métodos cuantitativos, especialmente la investigación de operaciones, ha venido a ser muy común en el manejo de recursos naturales (Martín y Sendak, 1983). El interés en estas técnicas se ha accentuado en los últimos cinco años debido al inicio de su enseñanza a nivel profesional; tal es el caso del primer curso de esta clase enseñado en la Universidad Autónoma Chapingo en 1981 (Moreno 1984). Desde entonces, algunas tesis profesionales se han enfocado hacia esta área (Moreno, 1984; Rivero, 1985).

---

\* MSC. Jefe del Departamento de Abastecimiento de Productos Forestales. CIFAP. D.F. Actualmente realiza estudios de posgrado.

En estas investigaciones se hace uso de la programación lineal, siguiendo la tendencia a nivel mundial en el uso exitoso de esta técnica. Sin embargo, el potencial de otros medios de investigación de operaciones en el área de recursos naturales ha sido poco explorado en México.

El creciente interés en las herramientas de optimización es también resultado de la necesidad de hacer más eficiente el proceso de producción forestal. La actividad forestal en México se caracteriza por un bajo nivel de manejo. No existe suficiente planeación y, por lo tanto, falta coordinación entre las fases de cultivo del bosque, abastecimiento, industrialización y distribución de productos forestales. La mayoría de las decisiones se toman con base en conocimiento empírico sin hacer uso de ninguna herramienta de optimización que ayude en el proceso. Conforme estas se tornan más difíciles y el número de alternativas se multiplican, son cada vez más pobres y el uso de modelos de optimización se vuelve imprescindible.

La difusión de técnicas que ayudan en el proceso de toma de decisiones fomenta una mejor planeación de los recursos forestales del país y provee nuevas alternativas para ser usadas en situaciones específicas. Las operaciones de abastecimiento forestal son la conexión entre el manejo del bosque y la industria. La falta de reconocimiento de este importante papel y su falta de planeación, ha contribuido a la subutilización de la capacidad instalada de la industria forestal y al deterioro de los bosques. Por lo tanto, el presente estudio planteó los siguientes objetivos: 1. Formular un procedimiento que hiciera uso de la programación por objetivos en la formulación de planes óptimos de abastecimiento forestal. Esto incluye el uso de métodos de programación matemática para minimizar costos dadas las restricciones de presupuesto, capacidad productiva del sistema de abastecimiento, la productividad del bosque, los requerimientos mínimos de materia prima de la industria y la disponibilidad de otros recursos escasos. 2. Contribuir a la difusión del conocimiento y uso de los métodos cuantitativos en la toma de decisiones en el área forestal.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### *Abastecimiento forestal.*

En el país se han llevado a cabo varios estudios de análisis de eficiencia y de caracterización de las operaciones de abastecimiento. Con estos estudios se han pretendido conocer las características de la producción lograda con los sistemas de trabajo, las máquinas y herramientas actualmente utilizadas para el abastecimiento de productos forestales; encontrar los aspectos críticos que interfieren en el aumento de la productividad del abastecimiento y tener información confiable para formular programas espe-

cifios de investigación que se enfoquen a la solución de los puntos críticos identificados. Los trabajos de investigación aludidos han utilizado como metodología básica los estudios de tiempos y movimientos de las labores de los sistemas de organización, administración y control, así como del archivo del caso bajo estudio para obtener antecedentes de la producción y costos del sistema de abastecimiento utilizado.

A continuación se mencionan las conclusiones más importantes de algunos de estos trabajos: Navar, *et al.* 1979 encontraron que la organización para las labores de abastecimiento de productos forestales en el Ejido "La Ciudad", municipio de Pueblo Nuevo, Durango, es deficiente, careciendo además de una planeación adecuada, esos dos se consideran aspectos medulares que habían estado impidiendo la obtención de mejores rendimientos.

Gómez, *et al.* (1981) concluyen en cuanto a la planeación de las operaciones de abastecimiento en el Organismo Público Descentralizado Productores Forestales Mexicanos (PROFORMEX), que no existe una coordinación adecuada para realizar la planeación de las operaciones de abastecimiento entre la Subdirección de Producción Forestal del Organismo y la Unidad de Administración Forestal que existe en la zona de estudio. No se realizan planes de corta, a mediano y largo plazo. No se planifica el abastecimiento a la industria de PROFORMEX, así como tampoco a la industria externa. No se cuenta con un proyecto de planeación como guía para realizar el abastecimiento. Debido a la escasa planeación con que cuenta PROFORMEX, no se aprovecha el total de la posibilidad anual autorizada.

Gómez (1982) concluye que la eficiencia en las operaciones de abastecimiento es baja, debido principalmente a la mala aplicación de las técnicas de trabajo, falta de coordinación en las operaciones, inestabilidad de la mano de obra e improvisaciones en el desarrollo de las operaciones. Por ello considera inaplazable proporcionar en la zona de estudios los servicios de asesoría en planeación y organización.

Hernández, *et al.* (1982) en el informe de un programa de entrenamiento sobre planeación y ejecución de las operaciones de abastecimiento que se llevó a cabo en Atenquique, Jalisco, reportan que en esa unidad, las operaciones de abastecimiento se realizan en gran parte utilizando un alto grado de mecanización que gracias al adecuado sistema de organización, planeación y administración permiten que tales operaciones se realicen con un alto grado de eficiencia.

Blancarte y Hernández (1982) consideran que el organigrama funcional del ejido Pueblo Nuevo, Durango, es favorable para el desarrollo de los trabajos de aprovechamiento forestal, aunque en la práctica se carece de la organización adecuada, considerándose que éste, junto con la mala planeación, constituye el principal problema que impide el aumento de la productividad.

Pérez, *et. al.* (1982) para el estado de Guerrero concluyen que es necesario determinar mejores sistemas de trabajo, que permitan incrementar la producción lograda actualmente y que a su vez, permitan aprovechar con mayor eficiencia la maquinaria y equipo utilizado. Además, es necesario contemplar la capacitación a niveles obrero-campesino, técnico medio y profesional para incrementar la productividad en todos los aspectos, que van desde la organización de actividades hasta las formas de aprovechamiento del recurso y protección del mismo.

#### *Proceso de planeación y el papel de los modelos.*

De acuerdo con Falaudi (1984), planeación es la aplicación del método científico a la toma de decisiones. Lee (1972) dice que la planeación determina el que, como y cuando se debe de tomar acción y, quien debe de llevar a cabo el trabajo para alcanzar el objetivo deseado. El proceso de toma de decisiones es: 1) Reconocimiento explícito de las condiciones que requieren una decisión o identificación de objetivos y análisis de las condiciones ambientales y organizacionales que requieren una decisión; 2) Buscar alternativas de acción o encontrar medios para lograr los objetivos planteados. El objetivo del planificador en esta etapa es la predicción y evaluación de las consecuencias de las posibles alternativas de acción. 3) Seleccionar la mejor alternativa de acción de entre las que han sido examinadas.

Lee (1973) identifica los principales componentes del proceso de planeación como: 1) Descripción del sistema y definición del problema. 2) Generación de soluciones y análisis. 3) Evaluación y selección. 4) Puesta en práctica y supervisión.

La función principal de los modelos matemáticos en el proceso de planeación es el análisis cuantitativo de alternativas de acción. El análisis sistemático de alternativas es la esencia misma de la toma de decisiones científicas (Lee, 1972).

#### *Aplicaciones de programación lineal y por objetivos.*

Newham (1975) desarrolló LOGPLAN, un modelo basado en programación lineal (PL) para la planeación de las operaciones de abastecimiento forestal. El objetivo del modelo fue desarrollar un plan anual que satisficiera los requerimientos de materia prima de la industria a un costo mínimo y, a la vez, no violara las restricciones de disponibilidad de maquinaria y de madera en el bosque. Este autor desarrolló un programa FORTRAN que genera la matriz de PL, la resuelve y reporta los resultados en forma tabular.

Kolenka (1978) demostró la posibilidad de la planeación y control óptimo de las operaciones de abastecimiento a través de modelos matemáticos, específicamente PL.

Las diferentes etapas del proceso de abastecimiento fueron representadas por medio de modelos coordinados, los cuales se pueden usar para tomar decisiones óptimas sobre la ejecución de cualquier etapa del proceso; flujos de información controlan y conectan los componentes del sistema de modelos. Kolenka concluyó que el uso de modelos matemáticos facilita el balanceo de la oferta y demanda, coordina los planes de manejo forestal con otras partes de la economía y minimiza los costos de producción.

Los elementos básicos de la programación por objetivos (PO) fueron introducidos por Charnes y Cooper (1955). El problema que trataron fue la determinación de compensaciones a ejecutivos distribuidos en siete categorías, con la restricción de que a un ejecutivo de una categoría más alta no se le podía pagar menos compensación que a uno de una categoría más baja. Su modelo tenía una función objetiva no lineal sujeta a restricciones lineales, no se usaron pesos ni prioridades. El concepto de programación por objetivos surgió como un medio para referirse a problemas de PL que no tenían solución. Explican que "Relacionado al análisis de contradicciones que surgen en problemas sin solución está el concepto que puede ser llamado "alcance de objetivos". Algunas veces los administradores establecen objetivos a niveles que no pueden ser alcanzados y lo hacen por diversas razones. Por ejemplo, esos niveles pueden ser establecidos para proveer incentivos o para calificar el desempeño del personal, o pueden ser usados como un margen de seguridad para las consideraciones a largo plazo que no se contemplan en los objetivos actuales. Cualquier restricción que se incluya puede ser llamada un "objetivo". No importando si el objetivo puede ser alcanzado o no, se puede formular una función objetivo que después de ser optimizada se llega tan cerca como es posible a los objetivos deseados.

Field (1973) parece ser el primero que uso PO como una herramienta en la toma de decisiones en manejo forestal. Presenta los elementos más importantes del modelo en un ejemplo hipotético. Menciona un método simple para la asignación de pesos a los objetivos, con el propósito de mantener una clasificación de prioridad cuando se usan paquetes de PL para la solución del problema.

Bell (1976) menciona que la PO es una extensión de la PL. En las situaciones donde existe más de un objetivo, es muy probable que surgan conflictos entre ellos. La PO es una técnica única para resolver el problema de tratar de satisfacer al mismo tiempo varios objetivos en conflicto. La técnica consiste en minimizar la diferencia entre la solución y los objetivos deseados, en vez de minimizar o maximizar la función objetivo en el sentido tradicional.

Otras aplicaciones de la PO incluyen el uso múltiple de los recursos naturales (Bottoms y Bartlett, 1975), la planeación de los recursos acuíferos (Cohon y Marks, 1975), la planeación del uso de la industria (una fábrica de papel y un aserradero) en

estos períodos de cada tipo de producto. Las operaciones de abastecimiento fueron divididas en cuatro etapas (subíndices "j"): 1) Derribo y troceo, 2) arrime (dos opciones: con tractor articulado o con motogrua), 3) carga (dos opciones: con grúa mecánica o con grúa hidráulica) y 4) transporte. Para cada una de estas operaciones se tienen: a) la disponibilidad de maquinaria y mano de obra, b) los costos de operación en cada área de corta por tipo de producto obtenido y c) el tiempo requerido para procesar un metro cúbico en cada área de corta por tipo de producto.

### EL MODELO

Se usa complementaria la PL y PO. Primero se formula el problema de planeación como un problema de PL. Se optimizan los diversos objetivos considerados en el modelo sujetos a las restricciones adecuadas para cada uno de ellos. Se comparan los resultados de los modelos de PL, si todos son satisfactorios y no entran en contradicción entre ellos, entonces se tiene una solución óptima para el problema de planeación, de otra manera el problema requiere de mayor análisis. Si existen contradicciones, el problema se formula como un modelo de PO con objetivos ordenados por prioridades. Los resultados de los modelos de PL son usados como el nivel deseado para cada uno de los objetivos en el modelo de PO.

En este modelo se consideraron los siguientes objetivos: 1) Minimización de los costos de abastecer de materia prima a la industria, 2) hacer uso, dentro de lo posible, de exactamente el presupuesto autorizado, 3) cumplir con los requerimientos mínimos de materia prima de la industria, y 4) cortar tanto como sea posible la totalidad de la posibilidad autorizada.

#### *Modelo de programación lineal para la minimización de los costos de abastecimiento.*

Basado en los datos antes mencionados, este modelo tiene 298 variables decisionales y 316 restricciones las cuales están englobadas en las seis expresiones que se presentan a continuación.

La función objetivo es:

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{j=1}^6 \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 C_{ijkl} X_{ijkl}$$

donde:

$X_{ijkl}$  = metros cúbicos de madera/ha a ser productivos en el área "i", en la operación

"j", en el periodo de trabajo "k", del tipo de producto "l".

$C_{ijkl}$  = costo de producir un metro cúbico en el área "i", en la operación "j", en el período de trabajo "k", del tipo de producto "l".

#### Restricción 1.

Esta serie de restricciones y la siguiente consideran la capacidad de producción del sistema de abastecimiento. Establecen que el volumen de madera producido en cada área, por operación de abastecimiento y período de trabajo para los tres tipos de productos, debe de ser menor o igual que el volumen que es posible producir al poner a trabajar todo el equipo disponible para una operación de abastecimiento en un período.

$$\sum_{i=1}^3 X_{ijkl} \leq b \text{ para cada } i, j \text{ y } k.$$

dónde:

$b$  = Máxima capacidad de producción de los tres tipos de productos (m<sup>3</sup>) al poner a trabajar todo el equipo disponible para la operación "j", en el periodo "k", en el área "i".

#### Restricción 2.

Esta serie de restricciones establece que las horas que se requieren para producir los tres tipos de productos en las seis áreas de trabajo deben de ser menor o igual que el total de horas disponible del j-ésimo equipo en el k-ésimo periodo.

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{l=1}^3 N_{ijkl} X_{ijkl} \leq I_n$$

dónde:  $N_{ijkl}$  = requerimiento en horas para producir un metro cúbico usando el n-ésimo equipo en el área "i", operación "j", periodo de trabajo "k", tipo de producto "l".

$I_n$  = total de horas de trabajo disponible en la operación "j" en el periodo "k", usando el equipo "n".

## Restricción 3.

Esta serie de restricciones y la siguiente evitan resultados irracionales. Establece que el volumen producido durante el año en una fase del proceso de abastecimiento forestal debe de ser mayor o igual que el volumen producido a lo largo del año en la siguiente fase del proceso en cada área de trabajo, operación y tipo de producto.

$$\sum_{k=1}^3 X_{ijkl} \geq \sum_{k=1}^3 X_{ij+1kl} \quad \text{para cada } i, j \text{ y } l.$$

para las fases de carga y transporte la restricción cambia un poco, dado que lo que es cargado debe de ser transportado.

$$\sum_{k=1}^3 X_{i4 \text{ y/o } 5kl} = \sum_{k=1}^3 X_{i6kl}$$

## Restricción 4.

Se incluyó esta serie de restricciones dado que la serie de restricciones 3 están en base anual, pero se podría dar el caso de tener un resultado en el que, por ejemplo, se arrima en el periodo de lluvias más de lo que se cortó en el primer periodo de seca en una área determinada. Esta restricción se especificó para el primero y segundo periodo de trabajo únicamente, dado que la relación entre el segundo o el tercero queda cubierta por la restricción 3.

$$X_{ijkl} \geq X_{ij+1kl} \quad \text{para cada } i, j \text{ y } l.$$

donde  $k = 1, 2$

Igual que en la restricción 3, para las fases de carga y transporte la desigualdad se convierte en igualdad, dado que lo que está cargado debe de ser transportado.

$$X_{i4 \text{ y/o } 5kl} = X_{i6kl}$$

## Restricción 5.

Este conjunto de restricciones toma en cuenta la capacidad productiva del bosque, esto es, la posibilidad de cada tipo de producto en cada área de trabajo. Estas restric-

ciones fueron establecidas solo para la operación de derribo y troceo, dado que a través de las restricciones 3 y 4 se cubre el resto del proceso de abastecimiento.

$$\sum_{k=1}^3 X_{ijkl} \leq e \quad \text{para cada } i \text{ y } l$$

donde:

$e$  = posibilidad en  $m^3$  del tipo de producto "l" en el área "i".

Restricción 6.

Estas restricciones representan los requerimientos de materia de la industria de cada tipo de producto en cada periodo de trabajo. Establecen que el volumen de madera que es transportado desde las seis áreas de trabajo debe de ser mayor o igual al volumen que es requerido por la industria de cada tipo de producto en cada periodo de trabajo. Se especifica únicamente para la fase de transporte, dado que a través de las restricciones 3 y 4 el resto del proceso de abastecimiento queda restringido.

$$\sum_{i=1}^6 X_{i\delta kl} \geq fa \quad \text{para cada } k \text{ y } l$$

donde:

$fa$  = requerimientos de la industria en el periodo "k" del tipo de producto "l".

#### *Formulaciones con el modelo PL.*

Se hicieron varias formulaciones con este modelo. Al tratar de resolver el modelo tal y como está planteado en la sección anterior, se obtiene un resultado no factible, dado que el sistema de abastecimiento no tiene la capacidad de abastecer la totalidad de las necesidades de materia prima de la industria. Después de varias manipulaciones, se llega a la determinación del costo mínimo de operar el sistema de abastecimiento a su máxima capacidad.

#### *El modelo de programación por objetivos.*

Como se planteó anteriormente, dado que existen conflictos entre los objetivos considerados, esto es, no se pueden satisfacer todos ellos al mismo tiempo, entonces hubo la necesidad de plantear un modelo de PO (con prioridades para los diversos

objetivos) que minimizara las desviaciones de los niveles deseados para los objetivos considerados en la planeación. El uso de objetivos por prioridades implica que el modelo hará lo necesario para cumplir el objetivo de más alta prioridad, una vez que este objetivo es satisfecho y sólo entonces, tratará de satisfacer el objetivo de la siguiente prioridad.

En este modelo se usaron las mismas definiciones de variables que en el modelo de programación lineal.

Debido al limitado tiempo para el desarrollo de este estudio, no se desarrollaron modelos de PL específicos para los otros objetivos planteados en el modelo de PO. Las restricciones 5 y 6 del modelo de PL se convierten en objetivos para este modelo, se mantiene el objetivo de la minimización de costos del proceso de abastecimiento y se plantea un objetivo presupuestal (el cual plantea el uso exacto del presupuesto autorizado). De esta manera existen 29 objetivos (nueve de requerimientos de materia prima, 18 posibilidades autorizadas, el de minimización de costos y el presupuestal).

La forma general del modelo de PO es la siguiente:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^m (d_i^- + d_i^+)$$

sujeto a:

$$Ax + Id^- - Id^+ = e$$

$$Bx \leq b$$

$$X, d^-, d^+ \geq 0$$

donde:

$d^+$  y  $d^-$  son vectores columna de  $m$  componentes que representan desviaciones de los objetivos planteados.

$I$  = una matriz identidad de  $m$  componentes que son desviaciones.

$e$  = vector columna de niveles para los objetivos.

$A$  = matriz de  $m \times n$  que representa la relación entre objetivos y subobjetivos.

$B$  = matriz de  $m \times n$  de coeficientes técnicos la cual representa el uso de los recursos disponibles por cada actividad.

$b$  = vector columna de disponibilidad de recursos.

El objetivo de un modelo de PO es minimizar las desviaciones, con respecto a una serie de objetivos generalmente en conflicto, los cuales están sujetos a restricciones lineales de disponibilidad de recursos de niveles de satisfacción mínimos para cada objetivo.

Dicho esto, el modelo en este estudio está dado por:

$$\text{Minimizar } z = d^+_1 + d^-_1 + d^+_2 + d^-_2 + d^-_n + d^+_o + d^-_o$$

donde:

$d^+_1$  = variable de desviación positiva con respecto al objetivo de minimización de costos.

$d^-_1$  = variable de desviación negativa con respecto al objetivo de minimización de costos.

$d^+_2$  = variable de desviación positiva con respecto al objetivo presupuestal.

$d^-_2$  = variable de desviación negativa con respecto al objetivo presupuestal.

$d^-_n$  = variable de desviación negativa con respecto al n-ésimo objetivo de requerimientos de materia prima de la industria.

$d^+_o$  = variable de desviación positiva con respecto al o-ésimo objetivo de posibilidad autorizada en el bosque.

$d^-_o$  = variables de desviación negativa con respecto al o-ésimo objetivo de posibilidad autorizada en el bosque.

sujeto a: A) Restricciones de niveles mínimos de satisfacción de objetivos.

A.1.) Minimización de costos.

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 C_{ijkl} X_{ijkl} - d^+_1 + d^-_1 = \$ 178\,308\,211$$

El nivel deseado de este objetivo proviene del resultado del modelo de PL diseñado en el modelo de programación por objetivos.

## A.2.) Objetivo presupuestal

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 C_{ijkl} X_{ijkl} - d_2 + d_2 = \$ 395\,000\,000$$

## A.3.) Requerimientos de materia prima de la industria.

$$\sum_{i=1}^6 X_{i16kl} + d_n \geq \text{Requerimientos de la industria en cada periodo de trabajo de cada tipo de producto.}$$

## A.4.) Posibilidad de corta autorizada en las áreas de corta.

$$\sum_{k=1}^3 X_{i1kl} - d_0 + d_0 = \text{Posibilidad autorizada en cada área de corta de cada tipo de producto.}$$

para cada  $i$  y  $l$

B) Otro tipo de restricciones. Aquí se incluyen las restricciones de disponibilidad de recursos y, en este modelo, las restricciones para evitar resultados irracionales (restricciones lógicas).

Las restricciones 1, 2, 3 y 4 del modelo de PL se aplican también para este modelo.

*Formulaciones con el modelo de PO.*

Se hicieron varias formulaciones con el modelo las cuales consistieron en cambiar sucesivamente la prioridad dada a cada objetivo y ver como afectaba esto el cumplimiento de los niveles de los otros objetivos.

## CONCLUSIONES

Dado que los datos usados en este estudio no tienen relevancia económica y por lo tanto no ayudan a la toma de decisiones en una situación particular, se considera innecesaria la presentación de una serie de números que sólo vendrían a empañar la exposición de otros aspectos relevantes. Por lo tanto este reporte se limita a la presentación de las conclusiones conceptuales.

1. Las programaciones lineal y por objetivos son dos herramientas poderosas en el análisis de sistemas de abastecimiento forestal, especialmente en el caso de los de grandes dimensiones y complejidad. El administrador experimentado es capaz de analizar y tomar decisiones óptimas en el caso de sistemas de razonable tamaño, pero conforme el sistema crece, las opciones se multiplican y el administrador empieza a perder la perspectiva de las posibles alternativas de acción, entonces el uso de modelos de optimización es cada vez más necesario.
2. Modelos como los aquí presentados se pueden usar como una armazón básica a partir de la cual se pueden desarrollar otros modelos para la toma de decisiones en situaciones específicas.
3. En México es relativamente común hacer cambios en los planes a corto y mediano plazo debido a diversas razones. A través de modelos de PO como el aquí presentado, es más fácil la evaluación del impacto de éstos cambios en los objetivos considerados en el modelo. Por ejemplo, una situación que se presenta a menudo es el que algunas comunidades demanden se les corte un cierto volumen en años en los que no les toca intervenciones de acuerdo con el plan de cortas. Si la compañía de abastecimiento es forzada a trabajar en áreas que no se consideran en el plan óptimo de la misma, las consecuencias de esto en términos económicos o de eficiencia se pueden analizar en una forma expedita, usando un modelo como el aquí planteado, forzando en la solución las áreas de trabajo en conflicto y viendo como esto afecta el nivel de cumplimiento de los otros objetivos considerados en el modelo.
4. Con base en los resultados del modelo de PO se pueden apreciar las pérdidas o ganancias en el alcance de los objetivos considerados cuando se cambian las prioridades de los mismos. Por ejemplo, cuando se le dá prioridad uno al objetivo de usar la totalidad del presupuesto aprobado, y el nivel de dicho objetivo es muy alto, esto forza a usar los equipos de mayor costo de operación para poder incurrir en mayores gastos y cumplir con el objetivo de más alta prioridad. A través de manipular las prioridades y pesos asignados a las variables de desviación de los objetivos, se puede llegar a los mismos resultados que el modelo de PL, con la ventaja de que las pérdidas o ganancias en el alcance de los objetivos son explícitas.
5. Es necesario mencionar que el modelo aquí planteado esta pobremente restringido para la cantidad de objetivos considerados. Además, en general, en los modelos de PO no es adecuado tener demasiados objetivos a la vez. En opinión del autor, haciendo uso inteligente de la PL y con bastante análisis de postoptimalidad (análisis de sensibilidad), se pueden lograr las mismas ventajas que se tienen con el uso de la PO.

## LITERATURA CITADA

- Blancarte, V.L., y Hernández D.C. 1982. *Análisis de las operaciones de abastecimiento de trocería y leñas en el ejido "Pueblo Nuevo" Durango*. Inst. Nal. de Invest. Ftale., Bol. Tec. No. 85; 187 pp. México.
- Bell, E.F. 1976. *Goal programming for land use planning* USDA. For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-53. p 12.
- Bottoms, K.E. and Bartlett, E.T. 1975. Resource allocation through goal programming. *Journal of Range Management* 28(6):442-447.
- Charnes, A. and Cooper, W.W. 1955. Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Management Science* 1: 138-151.
- Cohon, J.L. and Marks, D.H. 1975. A review and evaluation of multiobjective programming techniques. *Water Resources Research*. 11(2): 208-220.
- Dress, P.E. 1975. *Forest land use planning and applications—environment for goal programming*. In Systems Analysis and Forest Resource Management; Proceedings of a workshop systems analysis working group, Society of American Foresters. University of Georgia, Athens. 275 p.
- Dyer, A.A. et al. 1979. Implications of goal programming in forest resources allocation. *Forest Science* 25(4): 535-543.
- Faludí, A. 1984. *A reader in planning theory*. Pergamon Press. Great Britain. p. 402.
- Field, D.B. 1973. Goal programming for forest management. *Forest Science* 19(2): 125-135.
- Field, R.C., Dress, P.E. and Fortson, J.C. 1980. Complementary linear and goal programming procedures for timber harvesting scheduling. *Forest Science* 26(1): 121-133.
- Gómez, G.F.J. et al. 1981. *Situación actual del abastecimiento de productos forestales en el O.P.D. PROFORMEX*. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo; Chapingo, México. 240 pp.
- Gómez, A.R. 1982. *Análisis de la eficiencia de las operaciones de abastecimiento de productos forestales en el Ejido "La Victoria" Pueblo Nuevo, Durango*. México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Técnico No. 84. 100 pp.

- Hernández, D.C. *et al.* 1982. *Abastecimiento de trocena y leñas en la Unidad Industrial de Explotación Forestal, Atenquique, Jalisco.* (Informe) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Divulgativo No. 57. México. 103 pp.
- Hotvedt, J.E., Leuschner, W.A. and Buhyoff, G.J. 1981. A heuristic weight determination procedure for goal programs used for harvest scheduling models. *Canadian Journal of Forest Research* 12: 292:298.
- Jameson, D.A. *et al.* 1982. *Principles of land and resource management planning.* USDA, Forest Service, Land Management Planning Office. p. 325.
- Kao, Chiang and Brodie J.D. 1979. Goal programming for reconciling economic, even-flow and regulation objectives in forest harvest scheduling. *Canadian Journal of Forest Research* 9: 525-531.
- Kolenka, I. 1978. *Optimal production processes.* In Operations Forest Management Planning Methods. USDA. For. Serv. Pacific Southwest Forest and Range Experimental Station. General Technical Report Mo. PSW-32. 54-59 p.
- Lee, C. 1973. *Models in planning. An introduction to the use of quantitative models in planning.* Pergamon Press. New York, USA. p. 142.
- Lee, M.S. 1972. *Goal programming for decision analysis.* Auerbach Publishers. Inc. Philadelphia USA. p. 384.
- Martin, A.J. and Sendak, P.E. 1973. Operations research in forestry: A bibliography. USDA, Forest Service. *Gen. Tech. Rep.* NE-8. 130 p.
- Moreno, S.R. 1984. *Un modelo de programación lineal para la planeación de las labores de abastecimiento forestal.* Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. p. 178.
- Novar, H.J., Gómez, F.J. y Hernández, D.G. 1979. *Análisis de las operaciones de abastecimiento forestal en el ejido "La Ciudad" Durango.* Inédito. 117 p.
- Newham, R.M. 1975. *LOGPLAN a model for planning logging operations Can. For. Serv.* Forest Management Institute. Information Report. FMR-X-77. p. 59.
- Pérez, R.C., Rodríguez, F.C. y Zambrano, G.V. 1982. *Plan de Desarrollo Forestal del Estado de Guerrero.* Estudio Básico No. 5 Extracción y Transporte Forestal. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. Inédito. México. 100 pp.

Rivero, B.P. 1985. *Modelo de programación lineal para la planeación de intervenciones silvícolas*. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. p.70.

Rustagi, K.P. 1976. *Forest management planning for timber production: A goal programming approach*. Yale University. School of Forestry and Environmental Studies. Bulletin 89. 80 p.