



Elementos metodológicos a considerar en el proceso de modelación de la programación lineal

Elementos metodológicos a considerar no processo de modelação da programação linear

Ramiro Infante ROBLEJO¹ | Xiomara Vázquez CARRAZANA²

Resumen: En el trabajo se exponen los procedimientos metodológicos a tener en cuenta para el desarrollo del proceso de modelación de los modelos económico-matemáticos de programación lineal, abordándose las diferentes fases y etapas que en se divide la metodología expuesta, donde se exhiben los aspectos relacionados con la formulación del problema, construcción del modelo económico-matemático, solución del modelo, prueba de la solución, e implementación. La presentación y propuesta de este enfoque metodológico se encuentra dirigida a estudiantes, profesores y profesionales de las especialidades económicas y de administración, lo que permite, una mayor comprensión de la temática, el desarrollo de modelos de programación lineal y su aplicación en la solución problemas económicos y de administración actuales. Los resultados metodológicos expuestos complementan su pobre tratamiento en la literatura especializada, y proporcionan elementos para un análisis integral sobre la aplicación de los modelos de programación lineal.

Palabras claves: Modelos. Programación. Lineal. Metodología.

Resumo: No trabalho se expõem os procedimentos metodológicos a serem considerados para o desenvolvimento do processo de modelação dos modelos econômico-matemáticos de programação linear, abordando-se as diferentes fases e etapas em que se divide a metodologia exposta, onde se exibem os aspectos relacionados com a formulação do problema, construção do modelo econômico-matemático, solução do modelo, prova da solução e implementação. A apresentação e proposta deste enfoque metodológico se encontra dirigida a estudantes, professores e profissionais das especialidades econômicas e de administração, o que permite, uma maior compreensão da temática, o desenvolvimento de modelos de programação linear e sua aplicação na solução de problemas econômicos e de administração atuais. Os resultados metodológicos expostos complementam seu pobre tratamento na literatura especializada, e proporcionam elementos para uma análise integral sobre a aplicação dos modelos de programação linear.

Palavras-chave: Modelos. Programação. Linear. Metodologia.

Introducción

Una de las dificultades que se presentan en general en la literatura cuando se presentan los contenidos de Programación Lineal como parte integrante de la Investigación de Operaciones, disciplina presente en los planes curriculares de las especialidades de las ciencias económicas y administrativas, es la ausencia

1 Prof. Dr. Universidad de Granma, Cuba.

2 Prof. Dra. Universidad de Granma, Cuba.

de aspectos metodológicos, que no permiten tener en cuenta explícitamente los procedimientos particulares que posibiliten un análisis en sistema de las diferentes fases y etapas metodológicas en que se apoya la modelación económica-matemática, lo que limita en buena medida la comprensión y mayor dominio de la técnica por parte de los usuarios.

Para la aplicación práctica de la programación lineal es una necesidad estrechar la relación entre la teoría del contenido y la práctica económica, que permita una mayor comprensión de las bases matemáticas de la teoría y la vinculación del contenido con la realidad económica.

Con la presentación del trabajo se desarrollan un conjunto de procedimientos metodológicos de gran utilidad al trabajo didáctico, lo que posibilita incrementar el aprendizaje de los usuarios, así como, un mejor aprovechamiento. Para el desarrollo del trabajo se tuvo en cuenta la bibliografía más relevante y representativas.

Desarrollo

Formulación matemática del problema de programación lineal

Los Problemas de Optimización son aquellos en los cuales se busca el máximo o mínimo de una función con un número determinado de variables, estando los valores de la misma sujeta a ciertas limitaciones. Constituyendo el Problema de Programación Lineal un caso particular de los problemas de optimización y puede describirse de la forma siguiente, dada una función lineal de varias variables, se quieren determinar valores no negativos para dichas variables que maximicen o minimicen el valor de la función lineal, sujeta a ciertas condiciones que asumen la estructura de un sistema de ecuaciones y/o inecuaciones lineales.

La formulación matemática general de un problema de programación lineal se representa como:

$$\begin{aligned} \text{Min o Max } Z &= \sum_{j=1}^n C_j X_j && \text{I} \\ \text{sa } \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j &\{ \geq, =, \leq \} b_i, \quad i=1\dots m && \text{II} \\ X_j &\geq 0, \quad j=1\dots n && \text{III} \end{aligned}$$

Donde: C_j $j=1\dots n$; b_i $i=1\dots m$; a_{ij} $i=1\dots m, j=1\dots n$; son valores conocidos y constantes, y X_j representa a la variables esenciales o de decisión.

La función lineal I se denomina función objetivo y expresa el criterio de optimización que se utiliza en el problema, los valores C_j se denominan coeficientes de la función objetivo o coeficientes económicos. Al sistema de ecuaciones e inecuaciones lineales II se le denomina sistema de restricciones lineales, donde b_i son los términos independientes y a_{ij} son los coeficientes de las variables de decisión en las restricciones o coeficientes de conversión. La expresión III se llama condición de no negatividad de las variables, indica el requerimiento de que todas las variables esenciales o de decisión sean no negativas.

Es necesario destacar que desde el punto de vista puramente matemático no existe diferencia entre la expresión II y III en el sentido de que ambas constituyen limitaciones a los posibles valores de la variable X_j . La diferencia entre ambas expresiones radica en el tratamiento diferente que se le da a III cuando se procede a resolver el modelo de programación lineal.

Fases de la metodología de la modelación económico matemática

El desarrollo de la investigación se sustenta en la utilización de la metodología de la modelación económico-matemática que se fundamenta en el método de la modelación, como método de investigación científica. La modelación como método investigativo juega un papel relevante en el estudio de problemas económicos y de administración, ya que permite profundizar en la naturaleza de los fenómenos económicos que ocurren en dichos problemas.

Esta metodología se apoya en una serie de fases y etapas que deben seguirse para resolver el problema objeto de estudio. Se utilizaron como base metodológica los criterios de Morales (1984), y de otros autores como Roscoe y Mckeown (1991); Moskowitz y Wright (1982), y la experiencia teórica y práctica de los autores del presente trabajo, lo que permitió considerar las fases siguientes:

Fase I- Formulación del problema.

Fase II- Construcción del modelo.

Fase III- Prueba del modelo.

Fase IV- Solución del modelo.

Fase V- Prueba de la solución y presentación de variantes.

Fase VI- Implementación de los resultados.

A continuación se muestran aspectos relevantes a tener en cuenta en las diferentes fases.

Fase I – formulación del problema

La investigación de cualquier problema económico, al cual se le contemple aplicar la modelación matemática, debe comenzar por la formulación o planteamiento del problema. Siendo en esta fase donde se define, desde el punto de vista cualitativo el problema y las características que lo hacen modelable. La formulación del problema es por lo regular un proceso secuencial, es posible que la formulación original se vaya modificando en la medida que se resuelve.

El término problema designa una dificultad que no puede resolverse de manera inmediata, por lo que se requiere de una investigación conceptual o empírica, por tanto, un problema es el primer eslabón de la cadena: problema – investigación – solución.

Dentro de la fase formulación del problema se pueden considerar dos etapas: definición del que toma la decisión y estudio de las condiciones generales del problema.

Definición del que toma la decisión

El primer paso para formular correctamente el problema es definir quién constituye la entidad individual o colectiva que tomará la decisión con respecto al problema económico que se pretende resolver. Esta etapa es importante porque permite orientar el trabajo en función de los criterios de aquellos que van a tomar la decisión de aplicarlo, la misma no debe ser despreciada, pues muchas veces de ella depende que el resultado de la investigación sea o no aplicable a la práctica.

Estudio de las condiciones generales del problema

Se deberá definir si la situación problémica objeto de estudio corresponde a la de un problema de programación lineal, en cuyo caso deberán estar presentes las circunstancias siguientes: existencia de una cantidad de variante de solución que haga poco práctico e imposible la solución del problema por métodos manuales o convencionales; existencia de un objetivo primario, cuya satisfacción implicará resolver la situación problémica; deben cumplirse los supuestos de proporcionalidad, aditividad y divisibilidad que caracterizan a los modelos de programación lineal; las interrelaciones entre los elementos del problema deben ser posibles de expresar mediante un sistema de ecuaciones o inecuaciones lineales; las variables del problema podrán asumir solamente valores no negativos; carácter determinístico de los parámetros y coeficientes del modelo y la existencia de limitaciones de capacidades de producción, de disponibilidad de recursos humanos y materiales.

Fase II – construcción del modelo

Cuando se encuentran definidos cualitativamente los parámetros fundamentales del modelo y situados en el contexto de un problema de programación lineal, se pasa a la construcción del modelo económico-matemático que representa a este planteamiento.

Un primer aspecto a tener en cuenta en la construcción del modelo es cerciorarse que la situación problemática planteada efectivamente genera la necesidad de emplear un modelo económico-matemático, pues existen dos tipos de errores, primero tratar de resolver una situación compleja por métodos empíricos intuitivos, o sea se ofrece una solución inconsistente a un problema que requiere de un modelo que permita tomar en cuenta todas las condiciones y ofreciera una solución científicamente fundamentada; segundo tratar de aplicar un modelo económico-matemático a la solución de un problema para el cual no es el requerido.

La formulación de un problema da lugar a los planteamientos matemáticos, siguientes: planteamiento de trabajo y planteamiento general. El planteamiento de trabajo es el utilizado en la investigación y debe reflejar explícitamente la situación planteada en la formulación del problema; y el planteamiento general expresa de forma general una situación determinada, sin expresar numéricamente los parámetros es la forma que se utiliza en publicaciones científicas.

Dentro de esta fase se pueden distinguir tres etapas: definición de las variables, construcción del sistema de restricciones y planteamiento de la función objetivo.

Definición de las variables de decisión y de consecuencia

Cada variable de decisión se identifica con cada una de las actividades en que se descompone el problema estudiado y mediante las cuales se puede resolver en forma directa al problema objeto de estudio. Son variables en términos de las cuales se expresarán las soluciones. El valor numérico expresa la medición cuantitativa de la decisión tomada, constituye el medio de que se dispone para resolver la situación problemática dada.

Las variables de consecuencia no son variables en el sentido matemático, realmente son parámetros que sirven para medir las consecuencias de los valores asumidos por las variables de decisión. Previa a la solución, actúan como indicadores que forman el contexto matemático del problema, posterior a la solución, constituyen el instrumento de medición de las consecuencias suscitadas por los valores de las variables de decisión, ejemplo: disponibilidad de recursos, los coeficientes de insumos, costos de producción, etc.

Ambas variables están interrelacionadas de una parte las variables de consecuencia ayudan a determinar las magnitudes de las variables de decisión, y por otra, las variables de decisión ya evaluadas permiten valorar el efecto sobre las variables de consecuencia.

Para definir las variables de decisión y de consecuencia se debe tener en cuenta su definición conceptual, dimensional y temporal; y ser consecuente con la definición realizada en todo el contexto del planteamiento del problema.

Definición conceptual

Nos expresa el contenido de las variables desde el punto de vista cualitativo en el contexto del problema. Para facilitar la definición resulta útil emplear el principio de unicidad: de origen; de destino; de estructura tecnológica; y de coeficiente económico en la función objetivo, propuesto por Morales (1984). Una misma actividad puede ser definida mediante varias variables en dependencia del criterio de unicidad. Suponiendo que la actividad a desarrollar consiste en la transportación de cemento, la variable se puede definir con una sola variable como X_1 - Cemento a transportar.

Si el cemento debe ser transportado hacia zona de consumo I o zona de consumo II, por tanto se hace necesario definir dos variables:

X_1 - Cemento a transportar hacia la Zona de Consumo I.

X_2 - Cemento a transportar hacia la Zona de Consumo II.

Si el cemento transportado hacia la zona de consumo I o II, proviene de las fábricas productoras A o B, es decir, la transportación se puede realizar de una de las dos fábricas hacia la zona de consumo I o II, la nueva definición serían cuatro variables:

X_1 - Cemento a transportar desde la fábrica A hacia la Zona de Consumo I.

X_2 - Cemento a transportar desde la fábrica A hacia la Zona de Consumo II.

X_3 - Cemento a transportar desde la fábrica B hacia la Zona de Consumo I.

X_4 - Cemento a transportar desde la fábrica B hacia la Zona de Consumo II.

Si el cemento puede ser transportado por transporte automotor o por ferrocarril, siendo posible transportar para las zonas de consumo I o II por medio de transporte automotor o ferrocarril. El problema a resolver se vuelve más complejo donde para definir las variables de decisión hay que tener en cuenta la

diversidad de orígenes, de destinos, y los tipos de transporte; las nuevas variables se definen como:

X_1 - Cemento a transportar desde la fábrica A hacia la Zona de Consumo I por transporte automotor.

X_2 - Cemento a transportar desde la fábrica A hacia la Zona de Consumo I por ferrocarril.

X_3 - Cemento a transportar desde la fábrica A hacia la Zona de Consumo II por transporte automotor.

X_4 - Cemento a transportar desde la fábrica A hacia la Zona de Consumo II por ferrocarril.

X_5 - Cemento a transportar desde la fábrica B hacia la Zona de Consumo I por transporte automotor.

X_6 - Cemento a transportar desde la fábrica B hacia la Zona de Consumo I por ferrocarril.

X_7 - Cemento a transportar desde la fábrica B hacia la Zona de Consumo II por transporte automotor.

X_8 - Cemento a transportar desde la fábrica B hacia la Zona de Consumo II por ferrocarril.

Una variable se puede definir cuando existen origen, destino, estructura tecnológica y coeficientes económicos únicos, de acuerdo con el objetivo que se persiga en el trabajo. La correcta definición de la variable permitirá identificar en forma incuestionable los valores numéricos de las variables de decisión.

A las variables de decisión se le pueden adicionar subíndices y supraíndices en función de la diversidad de origen, destino, estructura tecnológica o coeficiente económico, ejemplo: X_{ijk} , X^l_{ijk} , donde: i- fábricas, j- zonas de consumos, k- tipos de transportes, y l- características del cemento.

Definición dimensional

No basta con definir las variables por su cualidad, sino que es necesario definir esa variable en términos cuantitativos y físicos, es decir, las unidades que van a ser utilizadas para operar con estas variables. Cuando existan varias alternativas de formas de medición, se deberá seleccionar una sola dimensión la más representativa y ser consecuente con ella en todo el modelo. Para el ejemplo analizado la dimensión elegida puede ser toneladas de cemento.

Definición temporal

Permite enmarcar la variable en un período determinado. Se deberá escoger una misma unidad de tiempo, en problemas sencillos es posible obviar este tipo de definición.

Construcción del sistema de restricciones

El sistema de restricciones está formado por un sistema de ecuaciones o inecuaciones lineales y constituye el conjunto de limitaciones que restringen el objetivo a lograr, pues el problema optimiza dentro de un contexto determinado.

Procedimiento a tener en cuenta para la construcción de las restricciones:

1. Establecer el valor numérico del término independiente b_i , teniendo en cuenta su dimensión física y temporal, así como su significado cualitativo.
2. Establecer el signo de la restricción.
3. Analizar e incluir el conjunto de variables que conformarán parte de la restricción.
4. Establecer los coeficientes tecnológicos a_{ij} que permitan adaptar las dimensiones de las variables de decisión a la de la restricción, para mantener la consistencia y homogeneidad dimensional de la restricción, situaciones que se pueden presentar:
 - 4.1 El coeficiente a_{ij} puede venir dado directamente en la dimensión requerida; o indirectamente en este caso se utilizará como denominador de las variables de decisión.
 - 4.2 El coeficiente a_{ij} no se plantea en forma directa o indirecta, y la restricción se debe construir basado en una determinada información, ejemplo restricciones de almacenamiento unitario.
 - 4.3 Restricciones de demanda, se caracterizan por:
 - 4.3.1 El coeficiente a_{ij} es igual a la unidad.
 - 4.3.2 El coeficiente a_{ij} se toma para que la restricción satisfaga una condición impuesta.
 - 4.4 En ocasiones puede ser necesario utilizar más de un coeficiente a_{ij} para homogenizar las dimensiones de las variables con la dimensión de la restricción.

Las restricciones más frecuentes en la práctica económica se encuentran relacionadas con: la capacidad máxima de producción a nivel de empresa, departamento, etc.; capacidad mínima de aprovechamiento de capacidades; disponibilidad máxima de recursos humanos y materiales; cotas máximas o mínimas de las variables que pueden responder a planes o a demandas a satisfacer; dependencias funcionales entre variables, etc.

Planteamiento de la función objetivo

La función objetivo es una función lineal que incluye a todas las variables de decisión definidas del problema. Para su construcción deben tenerse en cuenta el cumplimiento de los supuestos del modelo, los requisitos de linealidad y el análisis dimensional. La función objetivo expresa el propósito central que se persigue y es el medio a través del cual se mide la efectividad de la solución planteada. El objetivo primario se plantea directamente en la función objetivo.

Los coeficientes económicos pueden representar diversos objetivos, tales como: maximización de la ganancia o ingresos, maximización de la producción, minimización de los desperdicios, insumo de algún recurso, costo de producción, costo de distribución, costo de producción y distribución, componentes importados, etc.

Métodos a utilizar

La interrelación existente entre las variables en las restricciones y entre las variables en la función objetivo es construida mediante Métodos Analítico-Deductivos, pero también puede ser necesario recurrir al Método Estadístico Matemáticos para la estimación de los términos independientes y coeficientes del modelo.

El Método Analítico-Deductivo permite establecer relaciones funcionales directamente a partir de un análisis de causa-efecto, estas relaciones funcionales son construidas tomando como punto de partida el cumplimiento de los supuestos del modelo. Este método presupone que se conoce a priori el valor numérico de los coeficientes que acompañan a las variables de decisión, así como de los parámetros que se pueden calcular a partir de mediciones directas.

El Método Estadístico Matemático se puede aplicar cuando se conoce que entre las variables consideradas; que no son de decisión, ni de consecuencia; puede existir determinada relación cuantitativa, y se necesita conocer qué tipo de relación funcional existe entre ellas y la cuantificación de los coeficientes. Una de las técnicas estadísticas que se puede emplear es el Análisis de Regresión

Simple o Múltiple, en tal sentido, los términos independientes de las restricciones del modelo de programación lineal pueden ser resultado de cálculos exactos, estimaciones o proyecciones.

En síntesis para la construcción de un modelo de programación lineal, se utiliza el método analítico-deductivo; pero también puede ser necesario recurrir al método estadístico para la estimación de los términos independientes, coeficientes de las variables en las restricciones y coeficientes económicos.

Fase III – prueba del modelo

La prueba del modelo constituye un momento para comprobar el trabajo realizado, y consiste en verificar si todos y cada uno de los componentes del modelo son adecuados desde el punto de vista del objetivo con que se realiza la investigación. Esta fase es importante porque permite ahorrar tiempo y ofrece un mayor grado de representatividad del modelo construido.

Existen diferentes momentos de comprobación del modelo, mientras se está construyendo se debe ir rectificando el modelo en la medida que se van incorporando sus diferentes elementos, y con posterioridad a su construcción, se realiza la verificación del modelo en su conjunto. No obstante, el último y definitivo momento de comprobación del modelo es cuando se aplique su solución óptima en la práctica económica como criterio de la verdad. En cada uno de estos momentos, es importante la participación del decisor, porque puede ofrecer criterios que vayan modificando el modelo y lo hagan más representativo de la realidad que se desea modelar.

Los elementos que deberán ser comprobado del modelo tanto cuantitativa como cualitativamente son: variables de decisión, variables de consecuencias, restricciones y función objetivo. Además, antes de obtener la solución del modelo, es conveniente verificar cuantitativamente y cualitativamente los parámetros a_{ij} , b_i , y c_{ij} considerados en el modelo, dicha comprobación debe realizarse no solo a los cálculos numéricos, sino también a las fuentes originales de donde fueron tomados.

Los problemas más comunes que se pueden presentar son errores con respecto a la concepción de las variables de decisión y consecuencia, manifestado en la inclusión de variables no relevantes, exclusión de variables relevantes, y errores de estimación de los parámetros.

Fase IV – solución del modelo

Cuando se obtiene la solución óptima de un problema en específico debe tenerse presente que la solución que aparenta ser mejor en términos del modelo puede no ser la mejor para la realidad económica; ya que el modelo es una representación simplificada de los aspectos más relevantes del problema real y porque pueden variar las condiciones de los parámetros originales del problema.

La solución óptima del modelo previamente revisada y analizada, económica y matemáticamente, se somete a consideración de los decisores responsables del trabajo,

La aplicación a la práctica de la solución obtenida indica, en última instancia, que se ha seguido el camino acertado, por tanto, cuando se hace referencia a la solución, se hace con respecto al modelo y no necesariamente al sistema real representado en el modelo.

Existe una amplia variedad de métodos de solución para los modelos económico-matemáticos, debido a la gran diversidad de problemas que se presentan en la práctica de la administración y organización de la economía, los métodos de solución pueden dividirse esencialmente en tres grupos: analítico-deductivo, numérico-inductivo y de simulación.

El método analítico deductivo consiste en el uso de la deducción matemática por medio de la aplicación de varias ramas matemáticas, se estudia el fenómeno pasando de lo general a lo particular, en el análisis de los modelos económico-matemático de programación lineal se utiliza el procedimiento analítico-deductivo.

El método numérico-inductivo consiste en estudiar un fenómeno pasando de lo particular a lo general. Los procedimientos numéricos, consiste en comprobar varios valores de las variables controlables en el modelo, comparando los resultados obtenidos y seleccionando aquel conjunto de valores de las variables controladas que produzcan la mejor solución.

Fase V – prueba de la solución y presentación de variantes

Verificar la solución permite imprimirles a los resultados de la investigación mayor nivel de confiabilidad y constituye un paso decisivo para demostrar su grado de aplicabilidad. Esta fase es necesaria dado que la solución obtenida no puede ser aplicada inmediatamente sin antes probar su grado de utilidad, dado que el modelo representa a la realidad sólo en parte y la solución no puede, consecuentemente, reflejar todos los aspectos del problema objeto de análisis.

Como el modelo de programación lineal supone un comportamiento determinista en sus parámetros, y la realidad modelada difícilmente se comporten de una manera exacta preestablecida, es conveniente probar la solución óptima obtenida.

Esta fase presenta tres etapas: confrontación de la solución con el que toma la decisión; comparación de la solución con los procedimientos vigentes en la entidad económica; y análisis de post-optimalidad y utilización del dual.

Confrontación de la solución con lo que toman la decisión

Se confronta la solución con los especialistas y personal capacitado para tratar de determinar el grado de estabilidad de la solución hallada en función de los parámetros utilizados. Esta verificación tiene un doble propósito: someter la solución al criterio de personas de experiencia, quienes pueden detectar algunas dificultades con respecto a su aplicación futura; y crear un ambiente favorable para la instrumentación de la solución, ya que se comprometen a los empresarios y decisores con el trabajo.

Comparación de la solución con los procedimientos vigentes en la entidad económica

Un elemento importante para demostrar la conveniencia económica y práctica de la solución propuesta por el modelo, es establecer comparación con la solución que se ha dado en el pasado a problemas semejantes.

Si el proceso modelado es correcto desde el punto de vista económico y técnico, la solución del modelo debe ser mejor que la que podría obtenerse por la empresa sin la utilización de métodos de optimización. En dependencia del grado de organización existente en la empresa, será más o menos efectiva la solución propuesta por el modelo considerado.

Si la diferencia entre las ventajas económicas de la solución óptima del modelo y las obtenidas sin la aplicación del mismo, es muy significativa, debemos cuestionarnos, incluso antes de someter la solución a consideración del que toma la decisión, analizando si del modelo se ha excluido algún factor importante o incluido algún elemento deformador.

Análisis de post-optimalidad

La sensibilidad permite determinar el grado de susceptibilidad de la solución ante la variación de los valores originales de los parámetros, en cuyo contexto se han obtenido. Mediante el análisis de sensibilidad se puede determinar cuál sería una nueva solución del problema en caso de variar sus condiciones originales; esto le imprime a la solución óptima obtenida mayor grado de robustez y objetividad, y establece la confiabilidad de la solución óptima hallada.

La sensibilidad como resultado práctico ofrece los intervalos de variación de los coeficientes de la función objetivo y de los términos independientes de las restricciones, es decir, hasta que valor puede disminuir o aumentar los coeficientes de la función objetivo para cada variable o los términos independientes de las restricciones correspondientes; sin afectar la optimalidad de la base, o sea, se mantienen básicas las mismas variables en la solución aunque cuantitativamente los valores de las variables y la función objetivo pueden cambiar. Este análisis brinda flexibilidad a la solución obtenida y permite considerar diversas variantes en la decisión a tomar

Utilización del dual

La importancia del estudio de la teoría de la dualidad radica en que amplía las posibilidades de la programación lineal en lo referente a su interpretación económica, algoritmos de solución y planteamiento, en tal sentido, permite profundizar en el contenido económico del problema original, y se tiene otra vía para resolver al modelo original, y en ocasiones resulta una vía más rápida para hallar la solución del modelo original, pues se reduce el esfuerzo computacional, ya que el tiempo del cómputo al aplicar el Método Simplex depende del número de restricciones.

Fase VI – implementación de los resultados

Con la aplicación de la solución obtenida a la realidad, se verifica la relación existente entre el problema real y nuestra representación del mismo, se comienza a resolver la situación problemática, por tanto, la investigación económica se estima como concluida cuando se ha introducido y demostrado su utilidad económica.

La aplicación del trabajo puede lograrse de forma parcial o total, en ambos casos se recomiendan dos procedimientos:

- Participación directa del investigador, es aquella que lleva a cabo el investigador que ha realizado y propuesto la nueva solución o nuevo método de trabajo. Es conveniente la participación directa del investigador para impedir las dificultades que se puedan presentar.
- Siempre que sea posible se recomienda establecer procedimientos simplificado para aplicar el método de solución, es decir, la solución convenida debe trasladarse a un conjunto de procedimientos operativos que puedan ser comprendidos y aplicados por el personal que será responsable de su uso.

Para lograr la aplicación exitosa, en ocasiones resulta conveniente aplicar pruebas parciales para cerciorarse de las características del modelo antes de proceder a su aplicación total en un tiempo relativamente breve. Este tipo de aplicación sirve de retroalimentación importante en la aplicación total de la investigación, y la misma puede llevar a replanteamientos del problema, nuevas construcciones de modelos, etc.

Por perfecto y riguroso que sea el modelo construido, lograr la aplicación inmediata y total del mismo es dificultoso, por esto se requiere de un período de adaptación por parte de las personas que van a aplicar la solución en la realidad económica. Además, si el método utilizado plantea transformación en la organización y planificación del trabajo, debe esperarse resistencia o incomprensión a la instrumentación de las soluciones óptimas.

Si el modelo se utiliza más de una vez en el análisis de los problemas de decisión, este debe revisarse cada vez, para tener en cuenta los cambios que pueden ocurrir en las condiciones y datos del modelo, además, se debe tener en cuenta si satisface los requerimientos del decisor.

Una investigación donde se aplique la modelación económico-matemática no se debe considerar como terminada hasta que se logre su aplicación a la realidad económica que pretende mejorar.

Consideraciones finales

Las fases de la metodología de la programación lineal propuesta se dividen en: formulación del problema, construcción del modelo, prueba del modelo, solución del modelo, prueba de la solución y presentación de variantes, y finalmente la implementación de los resultados.

Las etapas relevantes e indispensables a tener en cuenta para la construcción matemática de los modelos de programación lineal son definición de las variables, construcción del sistema de restricciones y planteamiento de la función objetivo.

El análisis sistémico de las diferentes fases y etapas de la metodología propuesta, contribuye al aprendizaje, comprensión y dominio de los modelos de programación lineal.

La aplicación de la metodología propicia un mayor conocimiento de las bases teóricas de la modelación-matemáticas y su vinculación con el contenido de la realidad económica que se desea modelar.

Referências

ANDERSON, D. *et al.* **Métodos cuantitativos para los negocios**. México: Thomson, 1999.

BRONSON, R.: **Teoría y problema de investigación de operaciones**. México: McGraw-Hill, 1984.

DORFMAN, R.; Samuelson, P.; Solow, R.: **Programación lineal y análisis económico**. Madrid: Aguilar, 1967 (Biblioteca de Ciencias Sociales: Economía)

EPPEN, G.; Gould, F.: **Investigación de operaciones en la ciencia administrativa**. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1993.

GARVIN, W.: **Introduction to linear programming**. New York: McGraw-Hill, 1970.

GASS, S.: **Programación lineal**. México: Continental, 1971. (Biblioteca de Ciencias Sociales: Economía)

HADLEY, G.: **Linear programming**. Massachusetts: Adisson Wesley, 1968.

HILLER, F.; Lieberman, G.: **Introducción a la investigación de operaciones**. México: McGraw-Hill, 1999.

KANTOROVICH, L.; Gorstko, A.: **Las decisiones óptimas en la economía**. La Habana: Ariel, 1979.

MATHUR, K; Solow, D: **Investigación de operaciones**. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1996.

MORALES, A.: **Metodología de la modelación económico-matemática**. La Habana: Editorial Científico Técnica, 1984.

MOSKOWITZ, H.; Wright, G.: **Investigación de operaciones**. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1982.

ROSCOE, K; Mckeown, P.: **Modelos cuantitativos para la administración**. Athens: University of Georgia, Grupo Editorial Iberoamericano, 1991.

SIMONNARD, M.: **Programación lineal**. La Habana: Editorial Científico Técnica, 1981.

Recibido em: 07/04/2014

Aprovado em: 10/04/2014

Para referenciar este texto:

ROBLEJO, Ramiro Infante; CARRAZANA, Xiomara Vázquez. Elementos metodológicos a considerar en el proceso de modelación de la programación lineal. **Lumen**, v. 22, n. 2, p. 53-68, jul/dez.2013.