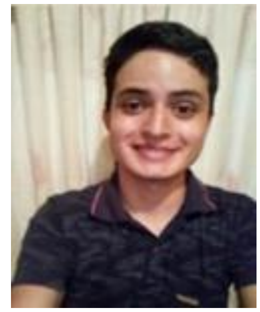
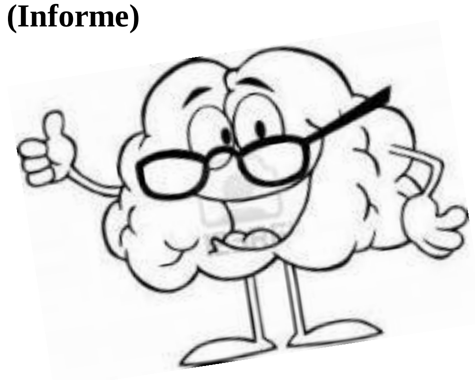
Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño

Ext. San Cristóbal



Programación no Lineal

(Informe)



Autor:

Luis A Urbina M.

C.I: 28.256.156

Escuela **47**

Junio, 2022

INTRODUCCIÓN

Desde un punto objetivo las matemáticas prestan su servicio a la sociedad mediante la elaboración de modelos matemáticos de la realidad.. Una modelación de gran importancia y utilidad es la modelación lineal, la cual acude al empleo de funciones lineales para conseguir sus objetivos. Sin embargo, a medida que crece la complejidad de los fenómenos que nos rodean, comienza a hacerse necesario modelar fenómenos con los cuales las aproximaciones lineales son notoriamente ineficaces. Por esta razón es necesario emplear modelos no lineales que se ajustan de una manera más precisa a las realidades de alto grado de complejidad.

La programación no lineal viene a significar la colección de metodologías asociadas con cualquier problema de optimización donde las relaciones no lineales se presentan en la función objetivo y/o en las restricciones. Cabe destacar, que su importancia recae en que, como es un caso especial de la programación no lineal, se utiliza como una función modelo para aproximar funciones no lineales a través de modelos locales. A continuación se presentaran los principales modelos de la programación no lineal con un ejemplo demostrativo de cada tipo.

Link Video: https://www.youtube.com/watch?v=xf6rbXFnChw

Programación No Lineal

Es el proceso de resolución de un sistema de igualdades y desigualdades sujetas a un conjunto de restricciones sobre un conjunto de variables reales desconocidas, con una función objetivo a maximizar, cuando alguna de las restricciones o la función objetivo no son lineales.

Una suposición importante de programación lineal es que todas sus funciones (función objetivo y funciones de restricción) son lineales. Aunque, en esencia, esta suposición se cumple para muchos problemas prácticos, con frecuencia no es así. De hecho muchos economistas han encontrado que cierto grado de no linealidad es la regla, y no la excepción, en los problemas de planeación económica, por lo cual, muchas veces es necesario manejar problemas de programación no lineal.

De la manera general el problema de programación no lineal consiste en encontrar:

$$X=(X_1, X_2, X_3, X_4, X_N) \text{ para}$$

Maximizar f(X), sujeta a

$$G_i(X)<= b_i \text{ para } i=1,2\ldots..m,$$

$$Y \quad X=>0,$$

Donde f(X) y $g_i(x)$ son funciones dadas de n variables de decisión.

Modelos de programación no Lineal

Programación Separable

Básicamente este tipo de método permite aproximar ciertos Modelos de Programación No Lineales en Modelos de Programación Lineales, obteniendo una solución óptima aproximada en donde una función en la que cada término incluye una sola variable, por lo que la función se puede separar en una suma de funciones de variables individuales.

El objetivo principal de este método es reemplazar cada función no lineal por una aproximación lineal a trozos. La programación separable es muy importante ya que permite aproximar un problema no lineal convexo con un modelo de programación lineal que da una precisión arbitraria. Para problemas no convexos la aproximación mediante este método también es válida pero se requiere de un esfuerzo mayor. se puede expresar como.

Una función $f : X \rightarrow R, X \subset R^n$ se dice que es separable si $f(x) = \sum_{j-1}^{n} = 1 f_j(x_j)$, es decir, si $f(x_1, \ldots, x_n)$ puede ser expresada como la suma de n funciones de una sola variable $f_1(x_1), \ldots, f_n(x_n)$.

Propiedad Esencial De Programación Separable

Cuando f(x) y g(x) satisfacen los supuestos de programación separable y las funciones lineales por partes que resultan se ponen en la forma de funciones lineales al eliminar la restricción especial se obtiene un modelo de programación lineal cuya solución óptima satisface de manera automática la restricción especial

Ejemplo

Resolver el siguiente problema:

Max $f(x) = x_1 + 4x_2^4$

Sujeto a

$$3x_1 + 2x_2^2 \leq 9$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Tenemos entonces.

$f_1(x_1) = x_1 \qquad g_1(x_1) = 3x_1$

$f_2(x_2) = x_2^4 \qquad g_2(x_2) = 2x_2^2$

Establecemos los untos de ruptura $a_{2k} = 0,1,2,3$ para $k = 1,2,3,4$ respectivamente .

K	a_2^k	$f_2(a_2^k)$	$g_1^2(a_2^k)$
1	0	0	0
2	1	1	2
3	2	16	8
4	3	81	18

Luego

$$f_2(X_2) \approx T_2^1 f_2(a_2^1) + T_2^2 f_2(a_2^2) + T_2^3 f_2(a_2^3) + T_2^4 f_2(a_2^4)$$
$$f_2(X_2) \approx 0(T_{21}) + 1(T_2^2) + 16(T_2^3) + 81(T_2^4)$$
$$f_2(X_2) \approx T_2^2 + 16\,T_3^2 + 81\,T_2^4$$
$$g_1^2(X_2) \approx 2\,T_2^2 + 8\,T_2^3 + 18\,T_2^4$$

Entonces el problema original por aproximación se convierte en:

Max $Z = x_1 + T_2^2 + 16T_2^3 + 81T_2^4$

Sujeto a

$$3x_1 + 2T_2^2 + 8T_2^3 + 18T_2^4 \leq 9$$

$$T_2^1 + T_2^2 + T_2^3 + T_2^4 = 0$$

$$T_2^2 \geq 0, X_1 \geq 0$$

El tablero simplex inicial corresponde a;

		$C_j \rightarrow$	1	1	16	81	0	0	
CB	VB	$\bar{b}$	$\bar{X}_1$	$\bar{T}_2^2$	$\bar{T}_2^3$	$\bar{T}_2^4$	$\bar{S}_1$	$\bar{T}_2^1$	
0	S_1	9	3	2	8	18	1	0	
0	T_2^1	1	0	1	1	1	1	1	$\rightarrow$
	Z	0	-1	-1	-16	-81	0	0	
					$\uparrow$				

Donde *S1* es una variable de holgura (relleno).

La solución óptima por el Simplex a este problema equivalente es:

$$T_2^{3*} = \frac{9}{10};\ T_2^{4*} = \frac{1}{10} \quad y \quad Z^* = \frac{45}{2}$$

Luego el óptimo en términos de X_1y X_2 es;

$$X_1^* = 0\ ;\ X_2^* \approx 2T_2^3 + 3T_2^4;\ X_2^* \approx 2\left(\frac{9}{10}\right) + 3\left(\frac{1}{10}\right);\ X_2^* \approx 2{,}1;\quad Z^* = \frac{45}{2}$$

PROGRAMACIÓN CUADRÁTICA

La programación cuadrática es un método utilizado para optimizar una función cuadrática multivariable que puede estar o no restringida linealmente. Muchos problemas del mundo real, como optimizar la cartera de una empresa o reducir los costos de un fabricante, se pueden describir mediante un programa cuadrático. Si la función objetivo es convexa, entonces puede existir una solución factible y puede resolverse mediante algoritmos conocidos como el algoritmo simplex expandido. Existen métodos para resolver algunas funciones cuadráticas no convexas, pero son complicados y no están fácilmente disponibles.

La importancia de la programación cuadrática recae en que, como es un caso especial de la programación no lineal, se utiliza como una función modelo para aproximar funciones no lineales a través de modelos locales.

La programación cuadrática trabaja con una clase especial de problemas en el que una función cuadrática de variables de decisión sujeta a restricciones lineales de desigualdad requiere ser optimizada.

Este tipo de problema se puede expresar de manera general como:

Maximizar $f(x)=cx-(1/2)x^TQx$

Sujeto a:

$$Ax \leq b$$

$$x \geq 0$$

Formulación del problema

El problema de programación cuadrática con n variables y m restricciones se puede formular de la siguiente manera. Dado:

- un verdadero -valued, *n* -dimensional vector ***c**,*
- una matriz *Q* simétrica real $n \times n$- dimensional ,
- una matriz real *A* $m \times n$- dimensional , y
- un vector real ***b*** dimensional *m*,

El objetivo de la programación cuadrática es encontrar un vector x n- dimensional, que

Minimizar

$$\frac{1}{2}\mathbf{x}^{\mathrm{T}}Q\mathbf{x} + \mathbf{c}^{\mathrm{T}}\mathbf{x}$$

sujeto a

$$A\mathbf{x} \preceq \mathbf{b},$$

Donde $\mathbf{x}^{T}$ denota la transpuesta vectorial de **x** , y la notación $Ax \preceq b$ significa que cada entrada del vector **Ax** es menor o igual a la entrada correspondiente del vector **b** (desigualdad de componentes).

Métodos

Método de Wolfe

Solo hay que resolver las condiciones de KKT para encontrar el óptimo como un problema de programación lineal. Al aplicar las condiciones KKT a un problema de programación cuadrática, surgen ciertas restricciones de complementariedad entre las variables de decisión, multiplicadores de Lagrange y holgura, las cuales se organizan en pares, donde solo una de las dos variables pareadas puede ser igual a 0. Para problemas es los cuales no se puede obtener una solución de manera gráfica, se usa el método simplex modificado.

Método simplex modificado

El método simplex modificado explota el hecho importante de que, con excepción de la restricción de complementariedad, las condiciones KKT que se obtienen de los problemas que son expresadas de forma conveniente, no son otra cosa que condiciones de programación lineal.

Algoritmo

Inicio

Se ingresa la función objetivo f(x) y el conjunto de restricciones $g_i(x)$

Se verifica que la función objetivo f(x) y el conjunto de restricciones $g_i(x)$ sean diferenciables:

- Si son diferenciables, se pasa al siguiente paso
- Si no, se detiene el algoritmo

Se evalúa si la función objetivo es cuadrática

- Si es cuadrática, continuamos al siguiente paso
- Si no, se detiene el algoritmo

Se verifica que el conjunto gi(x) sea un conjunto de restricciones lineales

- Si es así, continuamos al siguiente paso
- Si no, se detiene el algoritmo

Se evalúa la concavidad o convexidad de la función objetivo para asegurar su optimalidad

Maximizando

- Si f(x) es cóncava, se asegura la optimalidad
- Si f(x) es convexa, no se asegura la optimalidad del problema.

Minimizando

- Si f(x) es convexa, se asegura la optimalidad
- Si f(x) es cóncava, no se asegura la optimalidad del problema

Se aplican las condiciones KKT a la función objetivo f(x) y el conjunto de restricciones $g_i(x)$ para asegurar la factibilidad de la solución utilizando los multiplicadores de Lagrange generalizados.

Se evalúan las restricciones KKT resultantes

Si estas se pueden resolver gráficamente, se da la solución y termina el algoritmo

Sino se pasa al siguiente paso

Se transforma el problema a uno equivalente de programación lineal, tomando en cuenta las restricciones de complementariedad.

Se resuelve el problema usando el método simplex bifásico modificado, tomando en cuenta la condición de entrada restringida.

Una vez terminada la primera fase del algoritmo simplex bifásico, se obtiene el punto óptimo del modelo cuadrático original.

Fin

Ejemplo:

Resolver el siguiente problema de programación cuadrática por el método de Wolfe.

$$MAX\ Z = 10x_1 + 25x_2 - 10x_1^2 - x_2^2 - 4x_1x_2$$

Con sus restricciones:

$$x_1 + 2x_2 \leq 10$$
$$x_1 + x_2 \leq 9$$
$$x_1x_2 \geq 0$$

Aplicando los multiplicadores de Lagrange tenemos:

$$f(x,\lambda,\mu) = 10x_1 + 25X_2 - 10X_1^2 - X_2^2 - 4X_1X_2 - \lambda_1(X_1 + 2X_2 - 10)$$
$$-\lambda_2(x_1 + x_2 - 9) - \lambda_1(-x_1) - \lambda_2(-x_2)$$

Las primeras derivadas parciales son:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = 10 - 20x - 4x_2 - \lambda_1 - \lambda_2 + \mu_1 = 0$$
$$\frac{\partial f}{\partial x} = 25 - 2x_2 - 4x_1 2x_1 - \lambda_2 + \mu_1 = 0$$

El problema de programación lineal equivalente al original de acuerdo al método de Wolfees:

$$MIN\ W = V_1 + V_2$$

Sujeto a;

$$\begin{array}{llllll} 20x_1 + 4x_2 + \lambda_1 + \lambda_2 - \mu_1 & & + V_1 & & & = 10 \\ 4x_1 + 2x_2 + 2\lambda_1 + \lambda_2 & -\mu_2 & & + V_2 & & = 25 \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} x_1 + 2x_2 & + Y_1 & & = 10 \\ x_1 + x_2 & & + Y_2 & = 9 \end{array}$$

Con las siguientes restricciones de holgura complementaria y utilizando los métodos simplex se tiene que la solución básica inicial es:

$$x_1\mu_1 = 0$$
$$x_2\mu_2 = 0 \qquad W = -35; \;\; V_1 = 10; \;\; V_2 = 25; \;\; Y_{1=} 10; \;\; Y_2 = 9$$
$$\lambda_1 Y_1 = 0$$
$$\lambda_2 Y_1 = 0$$

En la primera iteración entra $x_2(\mu_2 = 0)$ y sale X_1 .El punto extremo luego de recalcular es:

$$W = 20; \;\; x_2 = \frac{5}{2}; \;\; V_2 = 20; \;\; Y_1 = 5; \;\; Y_2 = \frac{13}{2}$$

En la tercera iteración no pueden entrar a la base λ1 y λ2 y *Y1 y Y2* son positivas; el Simplex toma como siguiente candidato a M1 y de salida *Y1*; el punto extremo después de iterar es:

$$W = -15; \;\; x_2 = 5; \;\; V_2 = 15; \;\; \mu_1 = 10; \;\; Y_2 = 4$$

En la última iteración *(V1 = 0 y V2 = 0)* debe entrar *X1* pero no puede porque M1 es positivo; el siguiente elemento a entrar a la base es λ1 el cual reemplaza a *V2* Luego De recalcular (pivotear) el punto extremo es:

$$W = 0; \;\; x_2 = 5; \;\; \lambda_1 = \frac{15}{2}; \;\; \mu_1 = \frac{35}{2}; \;\; Y_1 = 4$$

La solución anterior corresponde al óptimo:

$$x_1 = 0; \quad x_2 = 5; \quad Z = 100$$

$$Max\ Z = 10(0) + 25(5) - 10(0)^2 - 5^2 - 4(0)(5)$$
$$Max\ Z = 0 + 125 - 0 - 25 = 100$$

PROGRAMACIÓN GEOMÉTRICA

Una de las más recientes técnicas de optimización matemática es la programación Geométrica, que es manejada para funciones y restricciones no lineales, descubierta por R. Duflin y C Zenncr. Por lo general es de forma Minimizar $f_0(x)$ tal que;

$$f_i(x) \leq 1, \quad i = 1, \ldots, m$$

$$h_i(x) = 1, \quad i = 1, \ldots, p$$

Donde $f_0, \ldots, f_m$ son polinomios y $h_1, \ldots, h_p$ son monomios. Hay que subrayar que al hablar de programación geométrica (al contrario que en otras disciplinas), un monomio se define como una función $f : \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$ con dom $f = \mathbb{R}^n_{++}$ definido como

$$f(x) = cx_1^{a_1} x_2^{a_2} \cdots x_n^{a_n}$$

donde $c > 0$ y $a_i \in \mathbb{R}$.

Tiene múltiples aplicaciones, como el dimensionamiento de circuitos y la estimación paramétrica vía regresión logística en estadística.

La Programación geométrica soluciona un caso especial de problemas de Programación No lineal. Este método resuelve al considerar un problema dual asociando los siguientes dos tipos de Programación No lineal:

Problema geométrico no restringido:

$$MIN\ W = \sum_{i=1}^{i=n} C_i \underset{j=1}{\overset{j=m}{\pi}} Y_j^{aij}$$

Donde $C_i > 0$, $Y_j > 0$, a_{ij} es real, para toda $i = 1, \ldots\ldots\ldots, n;$ $j = 1, \ldots\ldots\ldots, m$

Problema geométrico restringido:

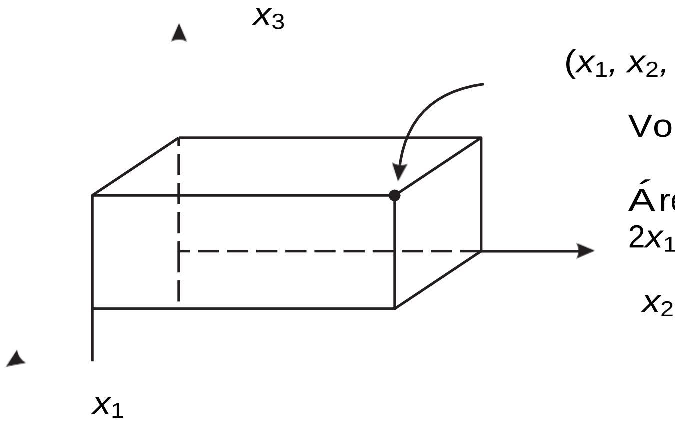
$$MIN\ W_0 = \sum_{i=1}^{i=n} C_i^0 \underset{j=1}{\overset{j=m}{\pi}} Y_j^{a_{ij}^0}$$

Con sus restricciones :

$$g_k(X) = \sum_{i=1}^{i=n} C_i^k \underset{j=1}{\overset{j=m}{\pi}} Y_j^{a_{ij}^k} \leq 1, \qquad k = 1, \ldots\ldots\ldots, p$$

Ejemplo:

Encontrar las dimensiones de una caja rectangular sin tapa con una a´rea fija de superficie S0 que tenga volumen máximo.



Volumen $= V = x_1x_2x_3$.

Área de superficie $= S_0 = x_1x_2 + 2x_1x_3 + 2x_2x_3$.

Por consiguiente, nuestro trabajo es resolver el siguiente problema:

$$\text{Maximizar } V(x_1, x_2, x_3) = x_1 x_2 x_3 \ ,$$

$$\text{sujeto a} \quad x_1x_2 + 2x_1x_3 + 2x_2x_3 = S_0,$$

$$x_1 \geq 0,\ x_2 \geq 0,\ x_3 \geq 0\ .$$

En esta forma, al problema se le puede aplicar la desigualdad (A-G) de manera natural. Observe que:

$$S_0 = x_1x_2 + 2x_1x_3 + 2x_2x_3 = 3\left(\frac{x_1x_2 + 2x_1x_3 + 2x_2x_3}{3}\right)$$

Luego utilizando la desigualdad (A-G) tenemos

$$\begin{aligned} S_0 = 3\left(\frac{x_1x_2 + 2x_1x_3 + 2x_2x_3}{3}\right) &\overset{\text{(A-G)}}{\geq} 3((x_1x_2)^{1/3}(2x_1x_3)^{1/3}(2x_2x_3)^{1/3}) \\ &= 3 \cdot 4^{1/3}(x_1^2x_2^2x_3^2)^{1/3} = 3 \cdot 4^{1/3}V^{2/3} \end{aligned}$$

Notemos que el valor de V está acotado y que esta cota (Ma´xima) es alcanzada cuando hay igualdad en la desigualdad (A-G), esto es, supongamos que V es maximizado cuando $x_1 = x_1^*$, $x_2 = x_2^*$ y $x_3 = x_3^*$.

$$x_1^*x_2^* = 2x_1^*x_3^* = 2x_2^*x_3^* = \frac{S_0}{3}$$

Resolviendo esto tenemos que las dimensiones son

$$x_1^* = x_2^* = \sqrt{\frac{S_0}{3}}\ , \quad x_3^* = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{S_0}{3}}\ ,$$

Y además el volumen máximo de la caja será..

$$V_0 = x_1^* x_2^* x_3^* = \frac{S_0^{3/2}}{2 \cdot 3^{3/2}} \ .$$

PROGRAMACIÓN ESTOCASTICA

La programación estocástica analiza la resolución de problemas de programación matemática en los que algunos parámetros son desconocidos pero se conoce la distribución de probabilidad asociada a ellos y, por tanto, las situaciones que se analizan mediante la misma son situaciones de riesgo.

La programación estocástica es la herramienta matemática que ofrece soluciones a los problemas formulados en sistemas estocásticos, donde el problema resultante es un problema matemático de optimización de dimensión no trivial. El problema de optimización es un programa matemático en $\mathbb{R}$! Que tiene como objetivo maximizar o minimizar una función generalmente llamada función objetivo, sujeta a restricciones y con algunos de sus parámetros aleatorios. Que se formula de la siguiente forma:

Maximizar (x_1 , ... , x_2) en un conjunto χ

Donde el conjunto de soluciones factibles χ esta definido por sus limitaciones y restricciones de la siguiente forma :

$$\boldsymbol{\chi = \{x: f_j(x) = 0, j = 1, \cdots\cdots, p,\ \ g_k(x) \leq 0, k = 1, \cdots\cdots m, x \in \chi_0\}}.$$

Aquí las funciones $\boldsymbol{Z}$, , $\boldsymbol{gk}$, ∀ $\boldsymbol{j}$,$\boldsymbol{k}$ son funciones reales y χ! es un conjunto de condiciones específicas. La función Z es llamada función objetivo. Todas las funciones que intervienen pueden depender de parámetros, lo que dará lugar a programas estocásticos si algunos de los parámetros son aleatorios (Andras Prékopa , 1995). Los Programas Lineales surgen cuando $\boldsymbol{\chi}$ = $\mathbb{R}\boldsymbol{n}$ y todas las funciones $\boldsymbol{Z}$, , $\boldsymbol{gk}$, ∀ $\boldsymbol{j}$,$\boldsymbol{k}$ son lineales.

Son muchas las aplicaciones de la programación estocástica, entre ellas destacan las siguientes.

1. Problemas de Economía y Finanzas.
2. Problemas relativos al diseño de los sistemas de generación deEnergía.
3. Problemas de planificación de la producción de las Empresas.

Conceptos de solución de un problema de programación estocástica.

Distinguimos en primer lugar los conceptos de solución en las dos situaciones en las que nos podemos plantear la resolución del problema de programación estocástica, denominadas situación “esperar y ver” y situación “aquí y ahora”.

La situación “esperar y ver” se caracteriza porque se conocen las distribuciones de probabilidad de las variables aleatorias que intervienen en el problema, pero, además, las variables aleatorias se realizan antes de tomar la decisión, de manera que en el momento de elegir el vector x óptimo del problema, se conocen los valores de todos los parámetros del mismo, por lo que el problema a resolver es determinista y su solución se puede obtener por cualquiera de las técnicas de optimización determinista.

Ejemplo.

Consideremos el problema de programación estocástica lineal:

$$\begin{aligned} &\text{"}\underset{\mathbf{x}}{\text{Min}}\text{"} \quad \tilde{\mathbf{c}}^t\mathbf{x} = \tilde{c}_1 x_1 + \tilde{c}_2 x_2 \\ &\text{s. a} \quad x_1 + x_2 \geq 1 \\ &\qquad 3x_1 + 2x_2 \leq 8 \\ &\qquad x_1, x_2 \geq 0 \end{aligned}$$

Donde $\tilde{\mathbf{c}} = \left(\tilde{c}_1, \tilde{c}_2\right)^t$ sigue la distribución normal multivariante con valor esperado $\bar{\mathbf{c}} = (4,2)^t$

Y matriz de varianzas y covarianza $\mathbf{V} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 4 \end{pmatrix}$.con lo cual tenemos que la variable aleatoria $\tilde{z}(\mathbf{x},\tilde{\mathbf{c}}) = \tilde{\mathbf{c}}^t\mathbf{x} = \tilde{c}_1 x_1 + \tilde{c}_2 x_2$ se distribuye según la distribución normal de valor esperado $\bar{\mathbf{c}}^t\mathbf{x} = 4x_1 + 2x_2$ y varianza $\mathbf{x}^t\mathbf{V}\mathbf{x} = x_1^2 + 4x_2^2 + 2x_1x_2$ y, por tanto, la solución mínimo riesgo de nivel de aspiración u, es la del problema:

$$
\begin{aligned}
&\underset{\mathbf{x}}{\text{Max}} \frac{u - 4x_1 - 2x_2}{\sqrt{x_1^2 + 4x_2^2 + 2x_1x_2}} \\
&\text{s.a } x_1 + x_2 \geq 1 \\
&\quad 3x_1 + 2x_2 \leq 8 \\
&\quad x_1, x_2 \geq 0
\end{aligned}
$$

En la siguiente tabla aparecen las soluciones de este problema para distintos niveles de aspiración. En la tercera columna aparece el nivel de probabilidad máximo con el que se puede asegurar que la solución obtenida no supera el nivel fijado.

Además, la cuarta y quinta columnas recogen los valores que alcanzan el valor esperado y la varianza en cada solución, para, de esa forma, tener una medida de tendencia central y una de dispersión del objetivo estocástico en cada una de las soluciones:

Nivel de aspiración	Solución	Probabilidad máxima	Valor esperado	Varianza
u = -5	(0, 4)	0.0520812	8	64
u = -0.1	(0, 4)	0.155649	8	64
u = 0.1	(0, 1)	C.171056	2	4
u = 3	(0,1)	0.691462	2	4
u = 4.6	(0,1)	0.9032	2	4
u = 4.7	(0.0476,09523)	0.911540	2.095	3.721
u = 5	(1/3, 2/3)	0.936685	2.6666	2.3333
u = 7	(0.7777, 0.2222)	0.999348	3.5555	1.148148

En la tabla anterior se observa que las soluciones del problema dependen del nivel de aspiración que se fije para el problema mínimo riesgo. A medida que aumenta el nivel de aspiración crece la probabilidad máxima y disminuye la varianza del objetivo estocástico en el óptimo. En cambio, el valor esperado decrece a medida que aumenta el nivel de aspiración y, posteriormente, crece al igual que la probabilidad máxima y la varianza. Obsérvese, además, que la solución óptima del problema coincide para algunos niveles de aspiración. En concreto, para u = -5 y u ≈-0. 1 la solución óptima es la misma y aunque la probabilidad máxima cambia en función del nivel de aspiración, la solución óptima así como el valor esperado y la varianza coincide en ambas. Esto mismo ocurre para los niveles u = 3 y u =4.6.

CONCLUSIONES

La programación no lineal tiene la limitante de la no existencia de un algoritmo único para cualquier problema no lineal, tal como el método Simplex en programación lineal, lo que hace más complicado su estudio. Los métodos de solución de programación no lineal se pueden clasificar en términos generales como procedimientos directos o indirectos.

Además Muchos de los problemas de programación no lineal requieren de software de computadora, para alcanzar su solución completa, aunque, entre más pequeño sea el error permisible es mejor su aproximación al punto o p t i m o