

# Formulación de un modelo de programación lineal entera mixta para el planeamiento de las importaciones en régimen aduanero definitivo para una Empresa de Producción

Recepción: Agosto de 2006 / Aceptación: Noviembre de 2006

<sup>(1)</sup> Christian Comejo Sánchez

<sup>(2)</sup> Miguel Mejía Puente

## RESUMEN

El artículo trata sobre la aplicación de la programación lineal entera mixta (PLEM) como herramienta para la planificación de las importaciones en el contexto de una empresa dedicada a la manufactura y venta de componentes de acero. Se construye un modelo matemático que se adapte a las características de los procesos de importación de la empresa, y cuyo objetivo será decidir cuál es el plan de importaciones con régimen aduanero definitivo que tiene costos totales mínimos. En esta segunda parte, se presentan los resultados del modelo matemático.

**Palabras Clave:** Programación lineal entera mixta, importación.

## A FORMULATION OF A MIXED WHOLE LINEAR-PROGRAMMING MODEL FOR THE PLANNING OF IMPORTS WITH A DEFINITE CUSTOMS REGIME FOR A PRODUCTION ENTERPRISE

### ABSTRACT

The article deals with the application of the mixed whole linear programming (MWLP) as a tool for the planning of imports within the context of a company devoted to the manufacturing and selling of steel components. A mathematical model is built that adapts to the characteristics of the import processes of the company, and whose objective will be to decide which imports plan with a definite regime and with the minimum of total costs will be chosen. In this second part, the results of the mathematical pattern are presented.

**Key words:** Mixed whole linear programming, import.

## RESULTADOS DEL MODELO MATEMÁTICO

Continuando con el "Modelo de programación lineal entera mixta para el planeamiento de las importaciones con régimen aduanero definitivo", en esta ocasión se presentan los resultados de las corridas del modelo, comparándolos con la metodología de importación que actualmente aplica la empresa ABC S.A.

En adelante cada tabla muestra el rubro AHORRO TOTAL como la diferencia del importe de los costos totales sin seguro y sin costo de adquisición de los escenarios "RESULTADOS DEL MODELO" y "SITUACIÓN ACTUAL". No se considera el costo de adquisición porque los costos relevantes que generan diferencias significativas son flete, ad/valórem y demás vinculados al desaduanaje.

### Resultado 1: el proveedor 1 suministra las piezas de los productos 1 y 2

Los resultados del modelo indican que el 100% de las piezas del producto terminado 1, se deben importar por vía marítima en contraste con la forma actual, donde el 40% de las veces se efectúan por vía aérea y 60% por vía marítima. La empresa justifica las importaciones por vía aérea cuando los lotes son pequeños, sin embargo, se puede lograr un ahorro total de US\$ 21,491 (ver Cuadro 1) debido a la elección del medio marítimo como forma exclusiva de transporte, lo cual también genera un 21% de ahorro en derechos arancelarios e impuestos. El modelo sugiere reemplazar la frecuencia trimestral de importaciones, por una cuatrimestral.

### Resultado 2: el proveedor 2 suministra las piezas de los productos 1 y 2

Los resultados del modelo indican que el 100% de las piezas del producto terminado 2, se deben importar por vía marítima en contraste con la forma actual, el 80% de las veces por vía aérea y 20% por vía marítima, con preferencia por la importación por vía aérea cuando se tienen volúmenes de compra reducidos; empero, se puede lograr un ahorro total de US\$ 18,705 (ver Cuadro 2) debido a la elección del medio aéreo como forma exclusiva de transporte, lo cual también genera un 55% de ahorro en derechos arancelarios e impuestos.

### Resultado 3: el proveedor 3 suministra las piezas de los productos 1 y 2

En este caso, hay un incremento de los costos de US\$ 6,924 (ver Cuadro 3) con respecto a la política de importación actual para el proveedor 3. La razón es la reasignación de las piezas que antes se compraban al provee-

(1) Ingeniero Industrial. Profesor del Departamento de Ingeniería Industrial. PUCP.  
E-mail: cscornejo@pucep.edu.pe

(2) Ingeniero Industrial. Profesor del Departamento de Ingeniería Industrial. PUCP.  
E-mail: mmejia@pucep.edu.pe



>>> Formulación de un modelo de programación lineal entera mixta para el planeamiento de las importaciones en régimen aduanero definitivo para una Empresa de

**Cuadro 1.** Costos anuales en US\$ asociados a las piezas abastecidas por el proveedor 1

RUBROS	RESULTADOS DEL MODELO (A)	SITUACIÓN ACTUAL (B)	DIFERENCIA (B-A)
COSTO DEL SEGURO	1,920	3,014	1,094
COSTO DE ADQUISICIÓN	95,976	150,681	54,705
COSTO DEL FLETE	4,591	15,635	11,044
COSTO CIP ó CIF	102,487	169,330	66,843
AD/VALÓREM + IGV + IPM	34,107	43,042	8,935
GASTOS DE DESADUANAJE	2,737	4,290	1,553
COSTO DE OPORTUNIDAD	61	20	-41
COSTO TOTAL (SIN SEGURO Y SIN COSTO DE	41,496	62,987	21,491
		AHORRO TOTAL	21,491

Fuente: Elaboración propia, 2006

**Cuadro 2.** Costos anuales US\$ asociados a las piezas abastecidas por el proveedor 2

RUBROS	RESULTADOS DEL MODELO (A)	SITUACIÓN ACTUAL (B)	DIFERENCIA (B-A)
COSTO DEL SEGURO	286	499	213
COSTO DE ADQUISICIÓN	14,289	24,975	10,686
COSTO DEL FLETE	367	8,381	8,014
COSTO CIP ó CIF	14,942	33,855	18,913
AD/VALÓREM + IGV + IPM	4,973	11,167	6,194
GASTOS DE DESADUANAJE	1,650	4,050	2,400
COSTO DE OPORTUNIDAD	61	2,158	2,097
COSTO TOTAL (SIN SEGURO Y SIN COSTO DE ADQUISICIÓN)	7,051	25,756	18,705
		AHORRO TOTAL	18,705

Fuente: Elaboración propia, 2006

**Cuadro 3.** Costos anuales US\$ asociados a las piezas abastecidas por el proveedor 3

RUBROS	RESULTADOS DEL MODELO (A)	SITUACIÓN ACTUAL (B)	DIFERENCIA (B-A)
COSTO DEL SEGURO	3932	2,935	-997
COSTO DE ADQUISICIÓN	196,607	146,767	-49,840
COSTO DEL FLETE	10,958	22,732	11,774
COSTO CIP ó CIF	211,497	172,434	-39,063
AD/VALÓREM + IGV + IPM	61,262	49,121	-12,141
GASTOS DE DESADUANAJE	4,372	4,337	-35
COSTO DE OPORTUNIDAD	7,524	1,002	-6,522
COSTO TOTAL (SIN SEGURO Y SIN COSTO DE ADQUISICIÓN)	84,116	77,192	-6,924
		AHORRO TOTAL	-6,924

Fuente: Elaboración propia, 2006



**Cuadro. Ahorro total**

PROVEEDOR	AHORRO (US\$)
1	21,491
2	18,705
3	-6,924
<b>TOTAL</b>	<b>33,272</b>

Fuente: Elaboración propia, 2006

dor 2 y que ahora el modelo sugiere adquirirlas al proveedor 3. La compra a este proveedor se incrementa en 34%, pero a pesar del mayor volumen de adquisición, el flete es menor en 52% porque se utiliza intensivamente la modalidad de transporte marítimo.

Según los resultados del modelo, el efecto total de las importaciones de las piezas importadas de los productos terminados 1 y 2, desde los tres proveedores es favorable a la empresa en US\$ 32,272 (Ver Cuadro 4).

**Resultado 4: el proveedor 5 suministra las piezas de los productos 5 y 6**

Actualmente, del proveedor 5, la empresa importa el 30% de las veces por vía aérea y 70% por vía marítima, cada dos meses. Con el modelo matemático se puede lograr un ahorro total de US\$ 9,445, (ver Cuadro 5) debido al uso intensivo de la modalidad de transporte marítimo, decisión que reduce en 51% los costos por flete, y en 6% los costos del ad/valórem.

**Resultado 5: los proveedores 6 y 7 suministran las piezas del producto 6**

Actualmente la importación se realiza de ambos proveedores 6 y 7 por vía aérea exclusivamente y cada

dos meses. Con el modelo matemático se obtiene un ahorro total de US\$ 498, (ver Cuadro 6) el costo del flete se reduce en 52% y los gastos de desaduanaje y comisión de agencia en 50%, cada uno.

**Resultado 6: el proveedor 9 suministra todas las piezas del producto 7**

Actualmente la importación desde el proveedor 9, se efectúa el 50% de las veces vía aérea y 50% vía marítima, cada trimestre. El costo del flete se reduce en un 82% por uso del transporte marítimo. El ad/valórem se reduce en 32%, los gastos de desaduanaje en 40% y la comisión de agencia en 51%. Sin embargo, el costo de oportunidad se incrementa fuertemente en 32% porque el período semestral prolongado eleva su importe, a pesar que la modalidad de pago es con carta de crédito y pago diferido, lo cual no genera costo de oportunidad de producción. Este incremento se compensa con la reducción del costo del flete, con un saldo a favor de la empresa por US\$ 69,473 (ver Cuadro 7).

**Resultado 7: el proveedor 10 suministra todas las piezas del producto 4**

Actualmente la importación desde el proveedor 10, se efectúa el 80% de las veces por vía aérea y 20% vía marítima, cada trimestre. Con el modelo matemático se obtiene un ahorro total de US\$ 7,656 (ver Cuadro 8); el costo del flete se reduce en 18%, los derechos arancelarios e impuestos en 25%, los gastos de desaduanaje en 50% y la comisión de agencia en 44%.

**Resultado 8: el proveedor 11 suministra todas las piezas del producto 3**

Actualmente la importación desde el proveedor 11, se efectúa el 20% de las veces por vía aérea y 80% vía marítima, cada trimestre. En este caso, el mode-

**Cuadro 5. Costos anuales US\$ asociados a las piezas abastecidas por el proveedor 5**

RUBROS	RESULTADOS DEL MODELO (A)	SITUACIÓN ACTUAL (B)	DIFERENCIA (B-A)
COSTO DEL SEGURO	796	796	0
COSTO DE ADQUISICIÓN	39,776	39,776	0
COSTO DEL FLETE	7,211	14,586	7,375
COSTO CIP ó CIF	47,783	55,158	7,375
A D/VALÓREM + IGV + IPM	12,544	13,316	772
GASTOS DE DESADUANAJE	1,767	3,127	1,360
COSTO DE OPORTUNIDAD	512	450	-62
COSTO TOTAL (SIN SEGURO Y SIN COSTO DE ADQUISICIÓN)	22,034	31,479	9,445
		<b>AHORRO TOTAL</b>	<b>9,445</b>

Fuente: Elaboración propia, 2006



>>> Formulación de un modelo de programación lineal entera mixta para el planeamiento de las importaciones en régimen aduanero definitivo para una Empresa de

**Cuadro 6.** Costos anuales US\$ asociados a las piezas abastecidas por los proveedores 6 y 7

RUBROS	RESULTADOS DEL MODELO (A)	SITUACIÓN ACTUAL (B)	DIFERENCIA (B-A)
COSTO DEL SEGURO	124	124	0
COSTO DE ADQUISICIÓN	6,194	6,194	0
COSTO DEL FLETE	189	395	206
COSTO CIP ó CIF	6,507	6,713	206
AD VALÓREM + IGV + IPM	1,797	1,222	-575
GASTOS DE DESADUANAJE	2,400	3,450	1,050
COSTO DE OPORTUNIDAD	183	0	-183
COSTO TOTAL (SIN SEGURO Y SIN COSTO DE ADQUISICIÓN)	4,569	5,067	498
AHORRO TOTAL			498

Fuente: Elaboración propia, 2006

**Cuadro 7.** Costos anuales US\$ asociados a las piezas abastecidas por el proveedor 9

RUBROS	RESULTADOS DEL MODELO (A)	SITUACIÓN ACTUAL (B)	DIFERENCIA (B-A)
COSTO DEL SEGURO	1,949	1,949	0
COSTO DE ADQUISICIÓN	97,457	97,457	0
COSTO DEL FLETE	13,582	73,943	60,361
COSTO CIP ó CIF	112,988	173,349	60,361
AD VALÓREM + IGV + IPM	37,603	55,472	17,869
GASTOS DE DESADUANAJE	2,895	5,448	2,553
COSTO DE OPORTUNIDAD	42,364	31,054	-11,310
COSTO TOTAL (SIN SEGURO Y SIN COSTO DE ADQUISICIÓN)	96,444	165,917	69,473

Fuente: Elaboración propia, 2006

**Cuadro 8.** Costos anuales US\$ asociados a las piezas abastecidas por el proveedor 10

RUBROS	RESULTADOS DEL MODELO (A)	SITUACIÓN ACTUAL (B)	DIFERENCIA (B-A)
COSTO DEL SEGURO	1048	1048	0
COSTO DE ADQUISICIÓN	52,384	52,384	0
COSTO DEL FLETE	630	772	142
COSTO CIP ó CIF	54,062	54,204	142
AD VALÓREM + IGV + IPM	17,993	23,965	5,972
GASTOS DE DESADUANAJE	2,011	3,062	1,051
COSTO DE OPORTUNIDAD	994	1,485	491
COSTO TOTAL (SIN SEGURO Y SIN COSTO DE ADQUISICIÓN)	21,628	29,284	7,656
AHORRO TOTAL			7,656

Fuente: Elaboración propia, 2006



**Cuadro 9.** Costos anuales US\$ asociados a las piezas abastecidas por el proveedor 11

RUBROS	RESULTADOS DEL MODELO (A)	SITUACIÓN ACTUAL (B)	DIFERENCIA (B-A)
COSTO DEL SEGURO	3,840	4,017	177
COSTO DE ADQUISICIÓN	192,017	200,827	8,810
COSTO DEL FLETE	9,185	17,407	8,222
COSTO CIP ó CIF	205,042	222,251	17,209
AD VALÓREM + IGV + IPM	68,236	70,437	2,201
GASTOS DE DESADUANAJE	3,076	5,577	2,501
COSTO DE OPORTUNIDAD	123	2,347	2,224
COSTO TOTAL (SIN SEGURO Y SIN COSTO DE ADQUISICIÓN)	80,620	95,768	15,148

Fuente: Elaboración propia, 2006

lo rechaza al proveedor 11 para suministrar las piezas del producto terminado 3, y elige sólo al proveedor 1; de esta forma se incluyen en los lotes de compra de las piezas del producto 1 y 2 que se importan desde este proveedor 11 y se ahorra los gastos de desaduanaje y comisión de agencia que son costos que se incurren cada vez que se efectúa una importación desde otro proveedor. El ahorro total obtenido es US\$ 15,148 (ver Cuadro 9).

### CONCLUSIONES.

La comparación de los resultados del modelo matemático y la forma que actualmente trabaja ABC S.A. conduce a las siguientes conclusiones:

Con excepción de la mercadería del proveedor 10, para el resto de proveedores la modalidad de transporte elegida es la marítima debido a que el valor de su flete es menor al flete aéreo, y a pesar de que genera un mayor costo de oportunidad por los días que permanece en travesía y por la duración del proceso de desaduanaje.

La modalidad de transporte aérea elegida para el proveedor 10, se justifica porque al ser su modalidad de pago por adelantado, genera un alto costo de oportunidad de producción. Si la modalidad de transporte hubiese sido marítima se hubiera incrementado aun más el costo de oportunidad porque mayor sería la travesía, por tanto, la modalidad de pago fue decisiva en la elección de la modalidad de transporte.

En la mayoría de los casos el período de importaciones que sugiere el modelo es cuatrimestral, excepto para el caso de la mercadería importada desde el proveedor 9 que es semestral. A pesar que el monto de adquisición aumenta, y también la comisión de

agencia porque en la mayoría de casos el valor de aduanas supera los US\$ 10,000.00, debido al mayor lote de compra, este incremento se compensa con la reducción de los gastos de desaduanaje incurridos porque son menos las veces que se importa por año.

Para las piezas importadas que necesitan los productos terminados 1 y 2, el modelo redefine totalmente la forma de importación. Actualmente, ABC S.A. reparte la compra principalmente entre los tres proveedores 1 y 3 al 50%, y las piezas 1, 2, 8, 14 y 16 las adquiere al proveedor 2.

El modelo redefine este proceso de compra de la forma siguiente:

- Al proveedor 1 le asigna el 31% de la compra
- Al proveedor 3 le asigna el 64% de la compra.
- Al proveedor 2 le asigna únicamente la pieza 13, que representa el 5% debido a que su diseño especial, ocupa menos espacio, y genera un menor flete, incluso a pesar que sólo es una pieza, el modelo elige la modalidad marítima. En este caso el flete y no el costo de oportunidad fue la variable decisiva para la selección del proveedor y la modalidad de transporte.

El ahorro total según el modelo asciende a US\$ 135,490; equivalentes a un promedio de US\$ 11,290 mensuales. El modelo planteado finalmente aporta una metodología de trabajo eficiente para las importaciones con el objetivo de obtener una reducción de costos importante para ABC S.A.

Por cuanto el escenario de las ventas en esta empresa están definidas por licitaciones, las ventas mensuales son prácticamente fijas. Esta situación de la empresa permite superar la crítica frecuente a los modelos de programación lineal de adolecer de falta de dinámica o aleatoriedad. En este caso, el trata-



>>> Formulación de un modelo de programación lineal entera mixta para el planeamiento de las importaciones en régimen aduanero definitivo para una Empresa de Pr

miento determinístico de la demanda está plenamente justificado, porque la licitación define montos de ventas constantes mes a mes.

Álvarez, María. (1995). Dirección de Operaciones. Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción y los Servicios. McGraw-Hill, España. Primera Edición.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Cosío Jara, Fernando. (1997). Comentarios a la Ley General de ADUANAS. Librerías y Ediciones Jurídicas, Lima Perú. Primera edición.
2. Domínguez Machuca, José; García, Santiago; Domínguez Machuca, Miguel; Ruiz, Antonio;
3. Hillier, Frederick S., Lieberman, Gerald J. (1994). Introducción a la Investigación de Operaciones. McGraw-Hill. México. Cuarta edición.
4. Winston, Wayne L. (1994). Investigación de Operaciones. Aplicaciones y Algoritmos. Grupo Editorial Iberoamérica. México. Primera edición.