LA PROGRAMACION LINEAL COMO MEDIO PARA OPTIMIZAR LAS METAS ESTRATEGICAS Y LA PROGRAMACION DE OPERACIONES [i]

Pedro Dudiuk [ii]

PARTE I. INTRODUCCIÓN

Los hechos macro políticos tales como la globalización y las tendencias internacionales hacia la consolidación de espacios económicos comunes generan un contexto novedoso de reglas. Otros hechos a nivel Microeconómico; p.e. los cambios tecnológicos que aceleran la incorporación de productos y reducen su vida y las continuas modificaciones de procesos; hacen necesario incorporar más variables a los modelos de decisión para que sustenten la evolución competitiva de las empresas.

Con las disponibilidades tecnológicas actuales, se puede evitar que una parte importante del proceso de toma de decisiones de alto nivel se realice con instrumentos poco vinculados entre sí. Hoy es posible instalar la mayoría de los componentes de la toma de decisiones en un medio de análisis y evaluación comprensivo y exhaustivo que contribuya a la optimización de la empresa.

Cuales son los componentes a que nos referimos?.

Unos, están en el contexto estratégico; allí se establecen, entre otras: las políticas comerciales, las condiciones financieras, el relacionamiento con terceros: proveedores o partners productivos; y así se dimensiona el accionar de la empresa y su plan de producción. En este contexto los proveedores y partners pueden ser miembros tanto del país, del mercado común, o externos. Incluirlos en el modelo de

---

[i] Elaborado en base a P. Dudiuk: "PROGRAMACIÓN ESTRATÉGICA Y OPTIMIZACIÓN DE LA EMPRESA. Un método basado en técnicas analítico-cuantitativas para facilitar la toma de decisiones de la empresa en un contexto integral". Inédito. V. Elisa, julio 1996

[ii] Profesor Titular Ordinario de Macroeconomía 2, F. C. E. de la U.N.L.P. Tel-Fax.54-21-730474; e-mail: pdudiuk@isis.unlp.edu.ar

decisión es un modo apto de fortalecer la competitividad micro y disminuir el riesgo de inversión. Ello también contribuye a balancear la diversificación de productos con la especialización fabril para afrontar la competencia.

Otros, se hallan en la formulación del programa operativo al interior de la empresa. Es allí donde se determinan los procesos a utilizar, los recursos a afectar, los insumos necesarios y la secuencia del plan de producción, ventas y finanzas.

Las empresas deben combinar, de algún modo, las metas de su plan estratégico con las posibilidades operativas y desarrollar su actividad. Luego, serán sus clientes y sus competidores: el mercado y el contexto los que han de determinar a fin de cuentas el éxito o grado de éxito de su accionar.

El interés de este trabajo, está precisamente en el diseño de una herramienta que vincule las metas del Plan Estratégico con la Programación Operacional de la empresa, de manera de concebir un método integrado para formular su plan. O sea en una alternativa metodológica superadora de la juxtaposición de dos herramientas, diseñando una que las incluye y que permite obtener un óptimo, optimo restringido en este caso.

PARTE II. OBJETIVOS, METODOLOGÍA Y ASPECTOS TEÓRICOS DEL TRABAJO

En el Método se usa la Programación Lineal, el cual es en esencia un Modelo de Optimimización Microeconómica y de Equilibrio General, lo cual facilita la obtención del objetivo propuesto. La facilidad de contar con el algoritmo de resolución del simplex disponible en programas de software muy difundidas permite explorar mayores perspectivas de aplicación a fenómenos decisionales de la empresa. Además, al privilegiar el vínculo de lo estratégico y lo operacional, desde un punto de vista económico, el Modelo es integral.

En el diseño de este Método no se incorporan novedades desde el punto de vista formal o analítico a lo que se conoce corrientemente como Métodos Operativos aplicados a la resolución de problemas de Optimización con el uso de la Programación Lineal. Se usa el actual "estado de las artes" en la materia. El grado de progreso se pondrá de manifiesto a lo largo del desarrollo del trabajo si se lo comparara con los modelos más corrientes que aplican el algoritmo de la Programa-

ción Lineal, como los llamados Problemas Generales de Variables Restringidas GVR. Una excelente presentación de los GVR puede verse en [7, Cap. 9. 5], y una visión integral y exhaustiva de la Programación Lineal en Economía se encuentra en [2].

Específicamente, la modelización incluye: a) Las variables de decisión, o sea la familia de productos de la empresa; b) Como objetivo se establece la obtención de la máxima utilidad; c) La formulación analítica, cuantitativa y simultánea de las relaciones de los productos con las capacidades, y las metas estratégicas: en lo comercial, financiero, en el uso de prácticas de "outsourcing", y tratos con un "partnership" como elementos constitutivos del negocio; d) Los límites de las restricciones referidas a los recursos y las áreas estratégicas y operacionales de la empresa.

Desde el punto de vista teórico se usa una herramienta analítica y no un Modelo de Simulación.

En tal sentido, esta formulación metodológica, es una alternativa o un enfoque similar al denominado "Goal Programming". Para una solvente presentación del G.P. se recomienda ver [10, Cap. 13].

PARTE III. LOS COMPONENTES DEL MODELO: SECUENCIA DEL DESARROLLO

Para una mejor comprensión de los componentes estructurales del Modelo y el orden en que se desarrollará su presentación puede verse el Esquema del desarrollo del Modelo de Optimización.

Como allí se indica, en primer lugar, en la Parte IV del trabajo se presentan los componentes del modelo.

En el Capítulo 1 se aborda la formulación de la función objetivo consistente en maximizar las utilidades de la empresa, para lo cual deben definirse las fuentes de negocio o productos de la empresa y los margenes de contribución que brindan cada una de las fuentes de negocios.

En segundo lugar, en el Capítulo 2.1 de la parte IV, se incorporan al modelo las relaciones de insumo producto correspondientes a los procesos productivos y las disponibilidades de capacidad productiva interna, para cada uno de los Centros de Trabajo de cada una de las Plantas que posee la empresa. De tal modo quedan establecidas las condiciones que permiten compatibilizar la demanda y oferta de

capacidad correspondiente a cada producto y recurso respectivamente.

En el Capítulo 2.2 de la Parte IV, se expresan analíticamente las Restricciones Estratégicas y se establecen los límites y las metas para cada una de tales Restricciones. Finalmente, el Modelo se completa en el Capítulo 3 con la presentación de las condiciones de no Negatividad para la solución.

En cuarto lugar, en la Parte V, se presentan y analizan los resultados de la aplicación del Optimizador, que se corresponden con el máximo posible de utilidad y, que expuestos sintéticamente son:

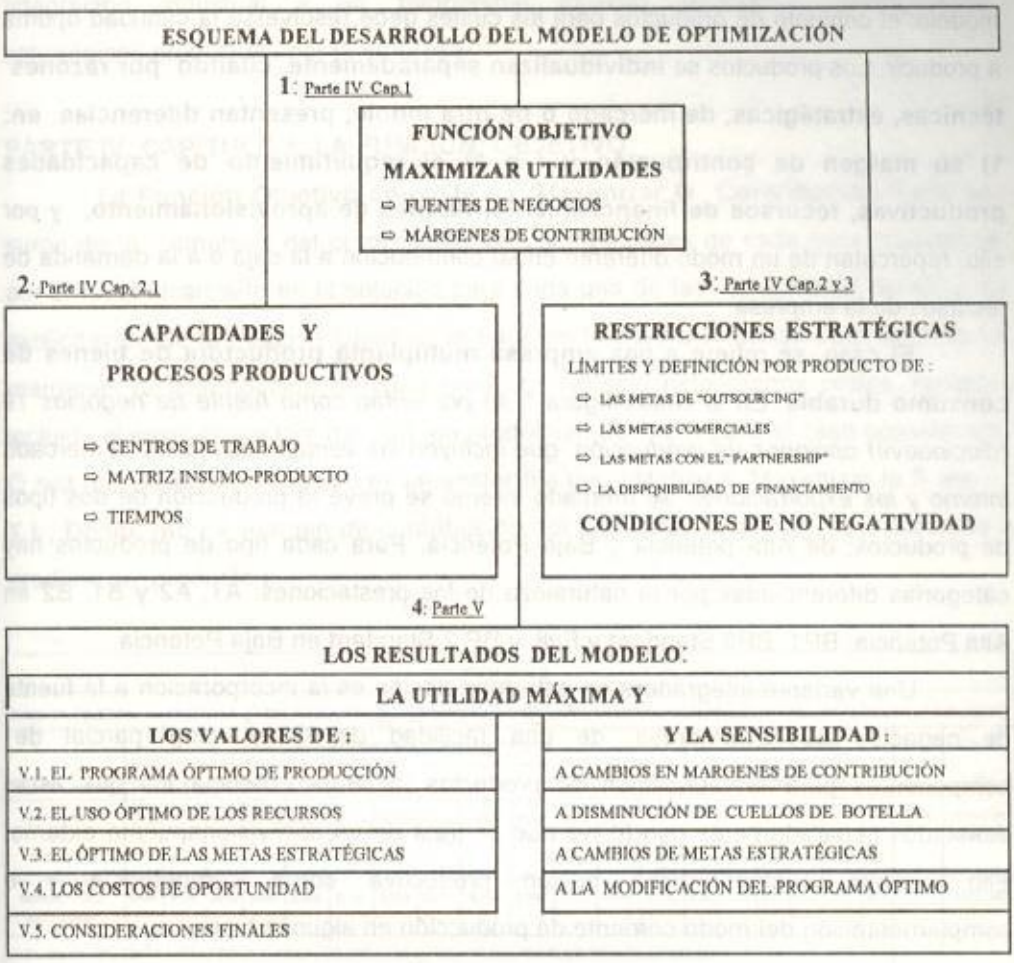
El programa óptimo de producción y el análisis de sensibilidad de dicho programa a cambios en los valores de los márgenes de contribución por producto.

El nivel óptimo de uso de los recursos productivos y la evaluación del beneficio incremental que puede obtenerse de la liberación de los cuellos de botella que se detecten en la solución.

El nivel óptimo de cumplimiento de las metas estratégicas y el cálculo del aumento o disminución del beneficio que puede surgir de modificar alguna de las metas, en tanto resulte limitante para la mejora del beneficio total de la empresa.

Los costos de oportunidad que surgirían de la modificación del programa óptimo introduciendo productos que no son competitivos y por lo tanto no han formado parte del programa óptimo.

Si bien, el análisis puede hacerse en modo individual y sus conclusiones interesan, como el Modelo funciona integralmente, necesariamente los resultados sobre productos, uso de capacidades y alcance de metas son interdependientes. En consecuencia, al final de la parte V, se hace una descripción sintética a modo del "análisis post-optimal", incluyendo una reinterpretación de resultados y de revaluación de las condiciones iniciales del Modelo de manera de mejorar la posición de la empresa.



PARTE IV. EXPLICITACIÓN ANALÍTICA DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN

A continuación se presenta en modo secuencial la formalización del modelo. Tal presentación se complementa con la información y parametrización correspondientes al caso, en las Figuras 1 a 3.

Quien desee revisar sus conocimientos puede ver el breve Listado Bibliográfico al final del documento, que cubre las áreas de la Programación Lineal acá utilizadas.

La exposición sigue un criterio útil para ingresar la información en las aplicaciones computacionales que están disponibles actualmente en el mercado de software.

En la **Figura 1** se presenta el listado de las **variables de decisión** del

modelo: el conjunto de productos para los cuales debe resolverse la cantidad óptima a producir. Los productos se **individualizan separadamente, cuando por razones técnicas, estratégicas, de mercado o de otra índole, presentan diferencias en: 1) su margen de contribución y / o 2) el requerimiento de capacidades productivas, recursos de financiamiento, fuentes de aprovisionamiento,** y por ello, repercutan de un modo diferente en su contribución a la caja o a la demanda de recursos de la empresa.

El caso, se refiere a una **empresa multiplanta productora de bienes de consumo durable**. En la citada figura 1 *se presentan como fuente de negocios 19 (diecinueve) opciones de producción, que incluyen las ventas destinadas al mercado interno y las exportaciones.* Al mercado interno se prevé la producción de dos tipos de productos: de Alta potencia y Baja Potencia. Para cada tipo de productos hay categorías diferenciadas por la naturaleza de las prestaciones: A1, A2 y B1, B2 en Alta Potencia; BP1, BP3 Standard y Full; y BP 2 Standard en Baja Potencia.

Una variante integradora en esta formulación es la incorporación a la fuente de negocios de la empresa, de una facilidad de "Outsourcing" parcial de componentes para la fabricación de productos de Baja Potencia los que están denotados separadamente con (i), ya que se trata de un aprovisionamiento externo. Ello permite evaluar dicha opción productiva como competencia y o complementación del modo corriente de producción en algunos bienes.

FIGURA 1

VARIABLES DE DECISIÓN DEL MODELO: CANTIDAD ÓPTIMA DE PRODUCCIÓN DE CADA BIEN

EN UNIDADES	LISTA DE PRODUCTOS PARA EL MERCADO INTERNO													EXPORTACIONES					
	ALTA POTENCIA				BAJA POTENCIA									LISTA PARA EL "PARTNERSHIP"					
DENOMINACIÓN DEL PRODUCTO	AP A 1	AP A 2	AP B 1	AP B 2	BP1 S	BP1 S (I)	BP 1 FULL	BP 1 FULL (I)	BP 2	BP 3 S	BP 3 S (I)	BP 3 FULL	BP 3 FU LL (I)	X1	X2	X3	X4	X5	X6
VARIABLES DE DECISIÓN	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

LO PRIMERO A PREVER EN EL MODELO ES LA DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE DECISIÓN Y LA UBICACIÓN PARA LA EDICIÓN DE LOS VALORES DE LA SOLUCIÓN

En cuanto a las exportaciones, otra variante no tradicional de los modelos de optimización, expresadas también como variables de decisión, son opciones de

integración industrial a un "partnership" externo, incluyendo componentes estratégicos producidos por la empresa.

PARTE IV. CAPÍTULO 1. LA FUNCIÓN OBJETIVO

La Función Objetivo consiste en: Maximizar la Contribución Total que surge de la sumatoria del producto de las contribuciones de cada bien multiplicado por el nivel alcanzado en la solución para cada una de las variables de decisión. La explicitación de la Función Objetivo se hace en la Figura 2, donde se presentan los margenes de contribución de cada producto (precio neto menos costos variables incluido el costo financiero del período productivo del bien) para el caso considerado. O sea que, la función objetivo es un vector fila que establece: Maximizar la **S mc i * X i** ; Donde **mc i** = margen de contribución del producto **i** , y **X** $_i$ =a la cantidad a producir del producto **i**.

FIGURA 2

FUNCIÓN OBJETIVO: MAXIMIZAR LA $\sum$(DEL PRODUCTO DE EL MARGEN DE CADA VARIABLE DE DECISIÓN POR SU RESPECTIVO NIVEL EN LA SOLUCIÓN)

	LISTA DE PRODUCTOS PARA EL MERCADO INTERNO													EXPORTACIONES						CON	LÍMITE
EN $ POR UNIDAD	ALTA POTENCIA				BAJA POTENCIA									AL "PARTNERSHIP"						DI	(*)
DENOMINACIÓN DEL PRODUCTO	AP A 1	AP A 2	AP B 1	AP B 2	BP1 S	BP1 S (I)	BP 1 FULL	BP 1 FULL (I)	BP 2	BP 3 S	BP 3 S (I)	BP 3 FULL	BP 3 FULL (I)	X1	X2	X 3	X 4	X 5	X 6	CION	FUNCIÓN OBJETIVO
MARGEN DEL PRODUCTO	$496	$526	$696	$596	$396	$386	$599	$576	$396	$396	$376	$599	$576	$30	$108	$92	$22	$22	$80	**	$900.000
(*) EL VALOR DEL LÍMITE MÍNIMO DE LA FUNCIÓN OBJETIVO ES EL DE LOS GASTOS FIJOS PARA EL PERÍODO																					

Como trabajamos con desigualdades, el valor de la función objetivo debe definirse como superior a algún valor, en el caso se adoptó el monto de gastos fijos mensuales, o sea $ 900.000. =

Las variantes que usan "Outsourcing" tienen márgenes de contribución inferiores a los correspondientes al bien producido con el método corriente, pero liberan capacidad productiva de la empresa.

PARTE IV. CAPÍTULO 2. LAS RESTRICCIONES DEL MODELO

Las limitantes que condicionan la Función Objetivo se presentan en las Figuras 3.a, 3.b, 3.c, y 3.d. Las Restricciones se presentan en unidades de medida que reflejan su carácter funcional.

IV.2.1. LAS RESTRICCIONES DE CAPACIDAD DEL MODELO

Para las limitantes de las Plantas 1 y 2 ver las Figuras 3.a y 3. b. En ellas, se explicita que para cada Centro de Trabajo o Recurso Productivo se debe formular una función del siguiente tipo:

$S\ a_{ji} * x_i \leq z^f_j$; De modo tal que la sumatoria del producto de: 1) las demandas (a_{ji}) de cada uno de los recursos productivos j originadas en la producción de cada unidad de producto i, multiplicado por 2) el nivel de (x_i) obtenido en la solución; sea menor o igual a la cantidad disponible en cada Centro de Trabajo z^f_j. El superíndice ^{f} indica que es un dato fijo.

Puede observarse que en la Planta 1 (Figura 3.a) se fabrican elementos de todos los productos. Los productos de Alta Potencia se fabrican integramente en la Planta 1, y los bienes de Baja Potencia en ambas Plantas (ver también Figura 3.b). Las exportaciones en su mayor parte demandan los recursos de la planta 1, aún cuando hay dos componentes (X1 y X2) que requieren una mínima capacidad de la Planta 2. Como puede verse los productos fabricados con la facilidad del "Outsourcing" reemplazan recursos de la Planta 1, demandando menor capacidad de Centros de Trabajo de la empresa competitivos de los del proveedor.

IV.2.2. LAS RESTRICCIONES ESTRATÉGICAS DEL MODELO

Introduciremos cada una de ellas separadamente, y en base a la información de la Figura 3.c. Comenzaremos el análisis de la limitante de la facilidad de fabricación "Outsourcing".

IV.2.2.1.EL "OUTSOURCING"

En la primera fila de la Figura 3 c, se presenta la información de todos los coeficientes de la restricción del "Outsourcing" y el valor límite que se le ha asignado. Los coeficientes de esta limitante son cero y uno. A los "n" productos (donde $n \leq i$) que usan la facilidad del "Outsourcing" le corresponde el valor uno de modo tal que el producto de los valores de la solución (xi) multiplicados por este valor unitario y sumados sea menor o igual al valor del límite máximo expresado en unidades y que se ha fijado en 2600 en el caso al que se aplica el modelo. Los otros "m" productos (m = i-n), no contemplan el uso de la facilidad del "Outsourcing" llevan coeficiente

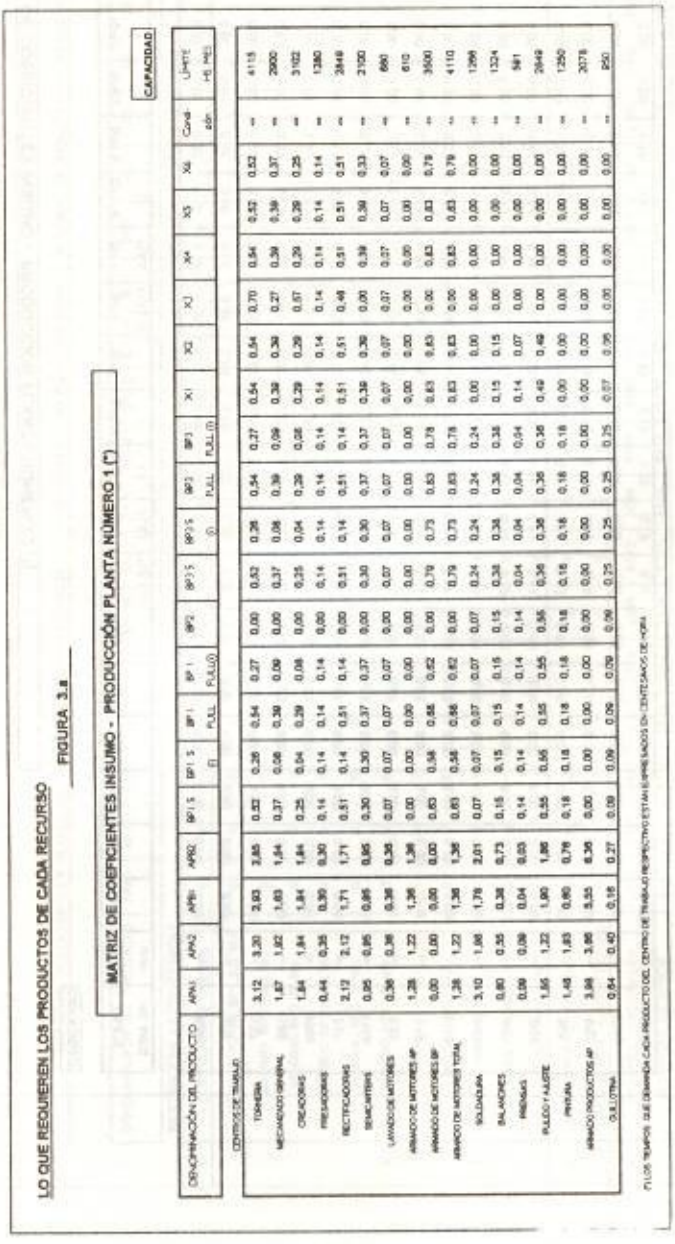
cero, y entonces el valor de la solución que no usa el "Outsourcing" no afecta al límite.

La función que expresa esta restricción es del mismo tipo que la usada para la capacidad propia:

S $o_{s\,i}$ * x_i £ Os; Donde **Os** denota el nivel máximo de "Outsourcing" (2600 en el caso) y,

$o_{s\,i}$ = a los coeficientes 1 y 0 en caso de estar o no afectados respectivamente al "Outsourcing".

Fig. 3a



LO QUE REQUIEREN LOS PRODUCTOS DE CADA RECURSO

FIGURA 3.a

MATRIZ DE COEFICIENTES INSUMO - PRODUCCIÓN PLANTA NÚMERO 1 (*)

DENOMINACIÓN DEL PRODUCTO	AP#1	AP#2	AP#3	AP#4	BP1 S	BP1 S (I)	BP1 PULL	BP1 PULL(I)	BP2	BP3 S	BP3 S (I)	BP3 PULL	BP3 PULL (I)	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Cond. disp.	LÍMITE HS MES
CENTROS DE TRABAJO																					
TORNERIA	3.12	3.20	2.93	3.85	0.52	0.26	0.54	0.27	0.00	0.52	0.26	0.54	0.27	0.54	0.54	0.70	0.54	0.52	0.52	=	4115
MECANIZADO GENERAL	1.87	1.92	1.63	1.54	0.37	0.08	0.39	0.09	0.00	0.37	0.08	0.39	0.09	0.39	0.39	0.27	0.39	0.39	0.37	=	2600
CIZALLAS	1.84	1.84	1.84	1.84	0.25	0.04	0.29	0.06	0.00	0.25	0.04	0.29	0.06	0.29	0.29	0.07	0.29	0.29	0.25	=	3102
PRENSAS	0.44	0.35	0.30	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.00	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	=	1380
RECTIFICADORAS	2.12	2.12	1.71	1.71	0.51	0.14	0.51	0.14	0.00	0.51	0.14	0.51	0.14	0.51	0.51	0.49	0.51	0.51	0.51	=	3849
SEMICARTERA	0.85	0.85	0.85	0.85	0.30	0.30	0.37	0.37	0.00	0.30	0.30	0.37	0.37	0.39	0.39	0.00	0.39	0.39	0.33	=	2100
LAVADO DE MOTORES	0.36	0.36	0.36	0.36	0.07	0.07	0.07	0.07	0.00	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	=	660
ARMADO DE MOTORES AP	1.28	1.22	1.36	1.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=	610
ARMADO DE MOTORES BP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.54	0.85	0.62	0.00	0.79	0.73	0.83	0.78	0.83	0.83	0.00	0.83	0.83	0.79	=	3500
ARMADO DE MOTORES TOTAL	1.28	1.22	1.36	1.36	0.63	0.54	0.85	0.62	0.00	0.79	0.73	0.83	0.78	0.83	0.83	0.00	0.83	0.83	0.79	=	4110
SOLDADURA	3.10	1.88	1.78	2.01	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.24	0.24	0.24	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=	1399
BALANCINES	0.80	0.55	0.36	0.73	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.38	0.38	0.38	0.38	0.15	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	=	1324
PRENSAS	0.09	0.09	0.04	0.03	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.14	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	=	961
PULIDO Y AJUSTE	1.55	1.22	1.00	1.00	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.36	0.36	0.36	0.36	0.49	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	=	2649
PINTURA	1.48	1.83	0.80	0.79	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=	1250
ARMADO PRODUCTOS AP	3.98	3.98	5.55	6.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=	2078
EJECUTIVA	0.64	0.40	0.18	0.27	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.25	0.25	0.25	0.25	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	=	250

(*) LOS TIEMPOS QUE DEMANDA CADA PRODUCTO DEL CENTRO DE TRABAJO RESPECTIVO ESTAN EXPRESADOS EN CENTESIMAS DE HORA

LO QUE REQUIEREN LOS PRODUCTOS DE CADA RECURSO

FIGURA 3.b

MATRIZ DE COEFICIENTES INSUMO - PRODUCCIÓN PLANTA NÚMERO 2 (*)

DENOMINACIÓN DEL PRODUCTO	APA1	APA2	APB1	APB2	BP1 S	BP1 S (i)	BP 1 FULL	BP 1 FULL(I)	BP2	BP3 S	BP3 S (i)	BP3 FULL	BP3 FULL (i)	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Condición	CAPACIDAD LÍMITE HS. MES
CENTROS DE TRABAJO:																					
BALANCINES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,18	0,18	0,18	0,18	0,08	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	--	658
CORTE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	--	275
GUILLOTINAS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	--	137
TUNEL DE LAVADO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	--	189
SOLDADURA	0,00	0,00	0,00	0,00	1,31	1,31	1,31	1,31	1,81	1,34	1,34	1,34	1,34	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	--	5698
MECANIZADO GENERAL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,12	0,12	0,12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	--	317
PULIDO Y AJUSTE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,40	0,40	0,42	0,24	0,24	0,24	0,24	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	--	1108
RETRABAJOS SOLDADURA Y PULIDO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	--	533
DESOXIDADO Y FOSFATIZADO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	--	475
PINTURA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,52	0,52	0,52	0,55	0,17	0,17	0,17	0,17	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	--	2152
RETRABAJO PINTURA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	--	660
MONTAJE MOTOR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	--	660
PREMONTAJES SUBCONJUNTO 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,44	0,46	0,46	0,48	0,38	0,38	0,41	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	--	2058
PREMONTAJE SUBCONJUNTO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,12	0,12	0,12	0,18	0,12	0,12	0,12	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	--	595
ARMADO SUB CONJUNTO3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	--	900
LINEA DE MONTAJE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,44	0,49	0,49	0,51	0,49	0,49	0,56	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	--	2350
REPARACIONES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	--	881

(*) LOS TIEMPOS QUE DEMANDA CADA PRODUCTO DEL CENTRO DE TRABAJO RESPECTIVO ESTÁN EXPRESADOS EN CENTÉSIMOS DE HORA

FIGURA 3. c

MATRIZ DE COEFICIENTES Y DE VALORES DE LOS LÍMITES ESTRATÉGICOS. 1: OUTSOURCING. 2: POLÍTICA COMERCIAL. 3: INTEGRACIÓN INDUSTRIAL. 4: FINANCIAMIENTO

	DENOMINACIÓN DEL PRODUCTO	APA1	APA2	APB1	APB2	BP1 S	BP1 S (i)	BP 1 FULL	BP 1 FULL(i)	BP2	BP3 S	BP3 S (i)	BP3 FULL	BP3 FULL (i)	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Condición	LÍMITE
	RESTRICIONES ESTRATÉGICAS																					
1	OUTSOURCING PARCIAL	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	<=	2600
	MÁXIMO TOTAL BP1,2,3, M.I.	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	<=	6800
	MÁXIMO BP1 FULL M.I.	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	4500
	MÁXIMO BP3 S M.I.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1000
	MÁXIMO BP3 FULL M.I.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	<=	1000
	MÁXIMO BP1 S M.I.	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	5000
2	MÍNIMO BP1 S M.I.	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	2000
	MÍNIMO APA1 M.I.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	75
	MÍNIMO APA2 M.I.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	50
	MÍNIMO APB1 M.I.	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	100
	MÍNIMO APB2 M.I.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	75
	MÍNIMO AP TOTAL	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	350
3	MÍN. EXPORT ESTRATÉGICAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	>=	1500
	MÁX. EXPORT ESTRATÉGICAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	<=	3000
4	COMPRAS NACIONALES	$629	$677	$681	$907	$278	$264	$312	$298	$269	$350	$336	$292	$278	$60	$165	$146	$30	$159	$88	<=	$2.500.000
	COMPRAS EXTERIOR	$347	$361	$735	$764	$55	$104	$101	$140	$478	$127	$166	$82	$121	$78	$76	$61	$2	$63	$71	<=	$900.000

IV.2.2.2. LA POLÍTICA COMERCIAL

De modo similar a la restricción anterior se plantean los coeficientes para las limitantes comerciales: si la condición de política comercial que se considera afecta al producto el valor es uno y cero en otro caso.

Tenemos acá dos tipos de funciones: 1) referida al máximo de producción que la empresa estima vender: $S\ c_{ji} * x\ i \leq C\ j$, donde **C**: es la restricción Comercial, **j**: que corresponde a un máximo, c_{ji} = a 1 y 0 en caso de estar o no afectados respectivamente a la condición comercial para el producto **i** en la limitante de máximo **j**, 2) referida al mínimo que se estima vender en el período: $S\ c_{ki} * x\ i \geq Ck$, donde c_{ki} = a 1 y 0 en caso de estar o no afectados a la condición comercial del bien **i** en la limitante de mínimo **k**, **Ck** es el nivel del límite **C** expresado en unidades de productos para la condición de mínimo **k**.

IV.2.2.3. INTEGRACIÓN INDUSTRIAL AL "PARTNERSHIP"

En este caso al igual que para la política comercial se establecieron límites mínimos y máximos. Los coeficientes son de valor 1 para todos los productos de exportación (X 1 a X 6) y cero para los restantes. Las sumatorias de los valores de exportación deben superar el límite mínimo y estar por debajo del límite máximo, expresados en unidades de los productos. El límite mínimo está determinado por el requerimiento del "partnership" para su propia perfomance competitiva. El límite máximo lo define la empresa de nuestro caso, la cual considera que superar dichos valores le significarían replantear el actual vínculo industrial y comercial.

IV.2.2.4. FINANZAS

La restricción financiera adopta dos alternativas: una para insumos domésticos y otra para los externos.

Los coeficientes que se presentan en la Figura 3 c son el costo de compras locales por producto en caso de crédito interno, y los de compras externas por producto en caso del crédito externo. El límite de crédito doméstico o externo es el que está acordado por bancos y o proveedores a la empresa en cada caso.

La formalización de las funciones es la misma que se planteó en los casos de límites máximos, o sea para compras locales: $Sc_{li} * x\ i \leq Cl$, donde, c_{li} es el costo de compras locales **l** por unidad de producto **i**, y **Cl** es el crédito **C** disponible para

compras domésticas I. Para las compras externas es:$Sc_{e\,i}$ *xi£ Ce, donde $c_{e\,i}$ denotan los costos de compras externas e por unidad de producción i, y Ce es el crédito externo.

PARTE IV. CAPÍTULO 3. CONDICIONES DE NO NEGATIVIDAD

Finalmente, el modelo se completa estableciendo la condición de que la producción de los bienes sea igual o superior a cero, tal como se presenta en la Figura 3 d. Esencialmente esta condición se establece para que el modelo interprete el rol productor de la empresa.

FIGURA 3. d

PRODUCTO	CONDICION	VALOR
AP A 1	>=	0
AP A 2	>=	0
AP B 1	>=	0
AP B 1	>=	0
BP 1 S	>=	0
BP 1 S (I)	>=	0
BP 1 FULL	>=	0
BP 1 FULL (I)	>=	0
BP 2	>=	0
BP 3 S	>=	0
BP 3 S (I)	>=	0
BP 3 FULL	>=	0
BP 3 FULL (I)	>=	0
X 1	>=	0
X 2	>=	0
X 3	>=	0
X 4	>=	0
X 5	>=	0
X 6	>=	0

Si no se establece esta condición de producción positiva, dependiendo de la formulación del modelo, la solución matemática podría dar algún resultado negativo, o sea que en el óptimo resultaría conveniente comprar algún producto, lo cual debe evitarse ya que no es este un caso comercial sino de producción. Podría omitirse la exigencia de no negatividad explícita en aquellos productos en los que la condición comercial ya estableció límites mínimos positivos, puesto que es redundante. Pero, la inclusión de la condición de no negatividad para todos los productos por un lado facilita el manejo y por el otro garantiza la consistencia integral del modelo cuando se realizan simulaciones modificando las condiciones limitantes del planteo original. Por

ello se sugiere el mantenimiento de la condición para todas las variables de decisión. En cualquier caso la condición de no negatividad, tiene

una consecuencia económica muy importante, ya que su inclusión permite conocer el valor del dual de los productos que no ingresaron en la solución.

Ello es sumamente valioso puesto que el Optimizador calcula el dual para todos los límites que se han incluido en el modelo (para el rol de los duales en el análisis ver la excelente obra [2]). En la parte V nos extenderemos al trabajar con los resultados que se presentarán en las Figuras 4 a, b, c, y d.

PARTE V. LOS RESULTADOS DEL MODELO

La formulación del Modelo está dirigida a optimizar la programación estratégica y operacional, privilegiando el enfoque integral de la problemática de la empresa Por ello, en esta Parte V se describen e interpretan a nivel conceptual y cuantitativo los resultados de acuerdo a la secuencia presentada en el Esquema de Desarrollo del Modelo.

PARTE V. CAPÍTULO 1. EL PROGRAMA ÓPTIMO Y EL DUAL DEL PROGRAMA

La descripción y el análisis del resultado del proceso de Optimización: el Programa Óptimo, se ha desagregado, según la categoría de los productos. Los datos se exponen en las Figuras 4 a 1, 4 a 2 y 4 a 3.

V.1.1. PRODUCTOS ALTA POTENCIA

En la línea 3 de la Figura 4 a 1, se presenta el Programa de Producción, y en las líneas 4 y 5 las variaciones en el margen de contribución -en más o menos - que permiten no modificar el programa, puesto que aún sigue siendo el óptimo[1]. Los valores de sensibilidad son denominados el **Dual del Programa Óptimo.**

Los productos: AP A 1, AP A 2, AP B 1 y AP B 2, deben producirse en las

[1] Nótese que los duales de estos productos, por el principio de integralidad del modelo, consideran no solo el efecto sobre los bienes categoría AP, sino que estos valores incrementales, contemplan además la neutralidad del cambio en los márgenes de estos productos sobre los niveles óptimos de los restantes productos: Baja Potencia y Exportación.

siguientes cantidades: 75, 50, 187 y 75, respectivamente. *Es interesante observar algunos de los siguientes resultados:*

El nivel de producción de la solución para AP B 1 (187 unidades), es el único que supera el límite mínimo establecido por la meta comercial (ver Figura 3.c), y su margen unitario puede incrementarse hasta en $ 285 (fila 4 de la Figura 4 a 1) o disminuir hasta en $ 120 (fila 5) sin que ello requiera modificar el plan de producción óptimo para obtener la mayor[1] utilidad.

Figura 4 a 1

El Programa Óptimo de producción y el Dual del Programa

1	PRODUCTOS ALTA POTENCIA				
	CONCEPTO	Producción óptima en unidades mes			
2	DENOMINACIÓN DEL PRODUCTO	AP A 1	AP A 2	AP B 1	AP B 2
3	NIVEL DE PRODUCCIÓN DEL PROGRAMA ÓPTIMO	75	50	187	75
	SENSIBILIDAD DEL PROGRAMA ÓPTIMO	Cambios del margen en pesos por unidad			
4	El programa óptimo no cambia si el **aumento** del margen es menor a:	$ 488	$ 260	$ 285	$ 136
5	El programa óptimo no cambia si el **descenso** del margen es menor a	Total	Total	$ 120	Total

*También puede observarse para los otros tres productos AP, **que si el margen de contribución se incrementa** en un valor inferior a los importes presentados en fila 4, o sea menores a: $488, $260 y $136, respectivamente, la producción óptima no debería cambiar.*

*Los resultados de los valores de **disminución del margen de contribución,** en AP A 1, AP A 2 y AP B 2 (en la fila 5 se ha escrito "Total"), para los que el Programa Óptimo se mantiene, no resultan obvios intuitivamente, lo que obliga a una reflexión. Esto se explica por el **carácter integral del modelo** que ha contemplado para la búsqueda de la solución, simultáneamente, el resto de las **condiciones** establecidas en la modelización. Por Restricciones de mínimo comercial, aún cuando el precio neto de ellos sea cero y, en consecuencia, el margen sea negativo en el importe del costo directo, la producción deberá realizarse, puesto que el objetivo*

---

[1] Claro que, debido a la variación considerada en el margen de contribución, el nuevo nivel de Utilidad Total, que será el máximo obtenible en tales condiciones, se modificará, en más o en menos dependiendo del cambio en el margen de contribución. La modificación de la Utilidad Total resultará de multiplicar el cambio positivo o negativo del margen (o sea adoptando los duales del programa: como máximo en +$285 o en -$120) por las 187 unidades del Programa Óptimo.

comercial de la empresa es tener una presencia mínima en el mercado con tales productos[i].

V.1.2. PRODUCTOS BAJA POTENCIA

En la Figura 4 a 2 se presenta la información de la Producción Óptima y el Dual del Programa. *Veamos la interpretación de los resultados.*

En cuanto a las variables de decisión, la solución óptima no incluye la producción de BP 1, BP 2 y, BP 3, Standard , y en el modo corriente de fabricación. Tampoco deben producirse los bienes BP 1 Full (i) y BP 3 Full (i) o sea con la facilidad del "Outsourcing" *: el valor de producción es cero para todos estos productos.*

La solución óptima incluye *al producto* ***BP 1, Standard ,con el uso del "Outsourcing"; y a los productos BP 1 y BP 3 ambos en la versión Full, mediante el modo corriente de fabricación.***

Veamos situaciones que contemplan a) productos que forman parte de la solución, y b) el resultado que les ha correspondido en las modificaciones del margen que permiten mantener el Programa Óptimo.

Primero, ***se observa que mediante la alternativa productiva del "Outsourcing"*** *deben producirse un total 2600 unidades de* ***BP 1 Standard****., siendo "Infinito" el valor del Dual del Programa respecto al aumento en el margen; cualquiera sea el aumento del margen en* ***BP 1 S (i)****, un cambio del programa no mejorará la solución de este Programa. Esto se explica por que el límite de naturaleza estratégica, establecido al proveedor, de 2600 unidades, ha sido utilizado plenamente en la solución*[ii]*. Por lo tanto, de nada serviría un aumento del margen, hasta si fuera Infinito porque la limitante cuantitativa para esta modalidad productiva ya se alcanzó.*

Segundo, ***de las unidades que deben producirse con el régimen de fabricación corriente****, una parte: 1000 unidades, corresponden al producto* ***BP 3 Full****. El programa tampoco deberá modificarse aún si el margen de contribución sube*

---

[i] Más adelante hemos de ver el costo económico de esta política, cuando se analice la rentabilidad de toda la gama de productos

[ii] El límite estratégico para caso puede verse en la Figura 3 c, Parte IV.

a Infinito. También en este caso el valor de la solución es el máximo establecido al producto ***BP 3 Full*** *por otra Restricción Estratégica: la limitante de máximo de política comercial. El producto restante que hà ingresado en la solución mediante fabricación corriente, es* ***BP 1 Full****, con 416 unidades. Pero, en este caso, se observa que si su margen sube más de $7 el Programa Óptimo debería modificarse.*

El Programa Óptimo de producción y los Duales del Programa

1	PRODUCTOS DE BAJA POTENCIA									
CONCEPTO		Producción óptima en unidades mes								
2	DENOMINACIÓN DEL PRODUCTO	BP1 S	BP1 S (i)	BP1 FULL	BP1 FULL (i)	BP2	BP3 S	BP3 S (i)	BP3 FULL	BP3 FULL (i)
3	NIVEL DE PRODUCCIÓN DEL PROGRAMA ÓPTIMO	0	2.600	416	0	0	0	0	1.000	0
Sensibilidad del Programa Óptimo		Cambios del margen en pesos por unidad								
4	El programa no cambia si el aumento del margen es menor a:	$ 9	Infinito	$ 7	$ 4	$ 137	$ 25	$ 26	Infinito	$ 4
5	El programa no cambia si el descenso del margen es menor a:	Total	$ 4	$ 11	Total	Total	Total	Total	$ 4	Total

Con relación al producto ***BP2****, puede observarse que, no conviene producirlo, y además, está fuertemente descolocado, ya que el aumento requerido del margen para que se modifique el mix es elevado: debería subir un mínimo en $137, sobre el nivel actual del margen que es de $396 (ver Figura 2 anterior)*[i].

En el caso de ***BP 1 Standard****, con el* ***procedimiento corriente de fabricación****, un aumento de $ 9 en su margen provocará un cambio del Programa Óptimo, reasignando parte de los recursos hacia este bien*[ii].

Finalmente, podemos ver que ***la sensibilidad del Programa****, a variaciones del margen del resto* ***de la linea de productos BP, es alta, sobre todo en comparación con la de los productos de la categoría Alta Potencia.***

En este caso, se podría recomendar la reformulación del modelo incluyendo una alternativa mayor utilización de las capacidades propias.

Cuando se analice en el Capítulo 4, el dual de los productos que no ingresaron en la solución, se tendrá una respuesta para el interrogante de cual es la modificación que sustentaría una mejora sobre el programa actual en este bien como para el BP1 Full

V.1.3. EXPORTACIÓN DE COMPONENTES

Finalmente, en la Figura 4 a 3, se presentan los resultados de los Componentes que permite la más rentable integración industrial vía Exportaciones al "partnership" y, los correspondientes Duales del Programa.

El resultado es contundente: los productos que se han designado como X 3 y X 6 resultan los únicos convenientes, con 1996 y 243 unidades mes respectivamente. Pero, este es también un resultado muy sensible teniendo en cuenta el potencial competitivo de X 2, ya que con un leve aumento en su margen de solo $ 3 generará cambios en la producción óptima[1]*. En cambio, el resto de los componentes de exportación requiere incrementos de margen relativamente importantes para que se justifique económicamente modificar el programa - observese que los componentes de exportación tienen margenes de contribución unitarios muy inferiores al resto de los productos de la empresa -*

Figura 4 a 3

El Programa Óptimo de producción y El Dual del Programa

1	INTEGRACIÓN INDUSTRIAL CON EXPORTACIONES DE COMPONENTES AL PARTNERSHIP						
CONCEPTO		Producción óptima en unidades mes					
2	DENOMINACIÓN DEL PRODUCTO	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5	X 6
3	PRODUCCIÓN OPTIMA	0	0	1.996	0	0	243
Sensibilidad del Programa Óptimo		Cambios del margen en pesos por unidad					
4	El programa no cambia si el aumento del margen es menor a:	$ 81	$ 3	$ 17	$ 60	$ 58	$ 10
5	El programa no cambia si el descenso del margen es menor a:	Total	Total	$ 21	Total	Total	$ 4

Por último debe destacarse que X 6, que está en la solución, tiene una alta sensibilidad a la baja del margen. Un descenso de solo $ 4 indica la necesidad de una modificación en el Programa Óptimo.

En síntesis, podemos señalar con los resultados que se han presentado hasta ahora y, considerando que el Margen de Contribución Total resulta de $ 2.292.804.=

---

[1] Como ya lo hemos señalado, en la nota 6, más adelante podremos analizar en qué modo, y con que cambios específicos del programa se mejorará la utilidad de la empresa.

frente a gastos fijos de $ 900.000.=:

A) El Programa Óptimo en su conjunto brinda utilidades importantes;

B) Es poco flexible a cambios en los productos Alta Potencia;

C) Es conveniente el relacionamiento vía "Outsourcing", ya que se usa todo el límite y el Dual es >0; y,

D) La sensibilidad del Programa Óptimo a cambios en el margen de contribución de los bienes Baja Potencia y de Exportación es elevada, indicando la necesidad del seguimiento de sus precios y costos por la incidencia en el mix de producción de los bienes BP (que incluye el "Outsourcing") y la relación con el "partnership".

PARTE V. CAPÍTULO 2. USO ÓPTIMO DE CAPACIDADES Y EL DUAL DE LOS RECURSOS PRODUCTIVOS

Dado que los recursos están distribuidos en dos plantas, para una mayor sencillez y mejor interpretación, los resultados serán expuestos y analizados separadamente para cada una de dichas plantas.

V.2.1. USO ÓPTIMO DE LAS CAPACIDADES DE LA PLANTA N º 1

En la Figura 4 b 1, se presenta la información de la Planta N 1.En la col. 6 la cantidad óptima de uso de cada recurso - expresada en horas mensuales -. En la col. 3, el valor del Dual correspondiente al Recurso Productivo. En la col. 4, el valor de la sensibilidad al Dual de cada Centro de Trabajo, indicando **el monto máximo de aumento de capacidad** - en unidades físicas expresadas en horas mes - que puede incorporarse **aprovechando el beneficio correspondiente a cada valor de Dual** presentado en la col. 3, y aumentando así el valor original de la función objetivo. En la siguiente col. 5 se presenta el cálculo del **valor máximo de disminución del recurso productivo** para el que es válido considerar la disminución de la utilidad total. Todos los valores están asociados al resultado del Programa Óptimo.

Para una mejor comprensión del análisis que se está realizando, es oportuno recordar la definición del "Dual del Recurso" y las implicancias del análisis de la sensibilidad del Dual.

El Dual de un Recurso "Y" , es el valor en unidades monetarias que podría ganar la empresa si incorpora una unidad adicional de "Y". En caso de

que el Recurso "Y" sea redundante; *o sea que, para el Programa Óptimo la capacidad de "Y' supera al requerimiento;* incorporar unidades adicionales no es necesario, y no generará mayores beneficios. ***El valor del Dual del recurso "Y" será cero.***

Sin embargo, en caso de que se trate de un recurso limitante "Z" *que se usa al 100 %,* **significa que existe un potencial de beneficios incorporando más de "Z". *El valor del Dual de "Z" será mayor que cero.*** Este valor surge de la mejor aplicación de dicha unidad adicional de recurso a las diferentes fuentes de negocios.

Debido a que el Dual es un importe que se ha calculado como beneficio incremental de la incorporación de una unidad de Recurso, la cuestión que interesa conocer es: ***¿cuantas unidades adicionales de tal Recurso podrían incorporarse para aprovechar la rentabilidad que implica la disminución de tal limitante?.Es lo que denominamos la sensibilidad del Dual.*** Ello es muy importante puesto que el caso plantea la aplicación de recursos múltiples a productos múltiples, los que poseen diferentes demandas de cada recurso. ***Por lo tanto el aumento aprovechable de un recurso "Z" que es limitante del Programa Óptimo, está necesariamente acotado a la aparición posterior de una nueva limitante, en otro recurso "X"; y "X"se exteriorizará como limitante recién cuando se amplíe su demanda debido al aumento en la producción que se hizo posible como consecuencia de disponer ahora de más capacidad en la limitante original "Z". Para ello el Optimizador determina a)cuales son los Centros de Trabajo limitantes (los Recursos tipo "Z"),b) cual es el valor unitario en que se puede beneficiar la empresa (el Dual) levantando las limitaciones existentes ,y además, c) la cantidad de unidades adicionales de las limitantes "Z" que pueden ser efectivamente aplicables al aumento de la producción permitiendo el incremento de la utilidad de la empresa. Alcanzado dicho aumento en "Z", no resulta conveniente seguir incorporando más unidades, porque su capacidad no podría emplearse efectivamente debido la aparición de la escasez de otro Recurso del tipo "X".*** La información de unidades adicionales utilizables a que nos referimos se presenta en col. 4 : Capacidad Disponible, Aumento.

En la col. 5 Disminución, se presenta la cifra de horas mes en que pueden reducirse los recursos al costo de disminuir la utilidad por unidad de Recurso que

indica el valor de la col. 3: Dual de los Recursos aplicados al Programa Óptimo. En caso de recursos ociosos, no existirá pérdida, el valor del Dual es cero; pero esto ocurrirá solo en la medida que se reduzcan hasta la cuantía en que son requeridos para la solución y cuyo valor está en la col. 6. En cambio, en el caso de recursos usados en el 100% en la solución si disminuye su disponibilidad inmediatamente habrá una disminución de los beneficios. Esta pérdida será equivalente al valor del Dual multiplicado por las unidades reducidas hasta el nivel que se indica en la col. -5.Si ***disminuye la capacidad disponible de algún recurso en una magnitud superior a lo establecido en la col. 5, la perdida unitaria ocasionada por tal decremento del recurso será mayor que la que indica el Dual.***[1]

Se retoma ahora el análisis de los resultados del uso de los recursos asociado al "Programa Optimo". De la observación de la col. 7 - % de utilización de los recursos -, surge que:

*Hay tres Recursos cuya capacidad disponible limita la producción: **"Tornería" , " Rectificadoras" y "Soldadura"**. Para incrementar la utilidad debe aumentar la disponibilidad de al menos uno de ellos.*

*èLos recursos **"Armado Productos AP" y "Pulido y Ajuste"** se utilizan al 90% de la capacidad y para el resto de los Centros, hay recursos disponibles excedentes, si bien con diferente intensidad.*

El Dual que se obtiene para "Tornería" es de $ 86,32 , "Rectificadoras" de $ 68,48, y "Soldadura de $183,72; en cada caso por hora adicional; y siempre considerando que la incorporación de recursos es individual. También se puede inferir que si en "Tornería" se incorporan hasta 67 horas mensuales más de capacidad, la utilidad de la empresa se puede incrementar en $ 86,32 por cada una de las 67 hs. adicionales, sin necesidad de modificar otra capacidad. Recíprocamente, se perderían $86,32 por cada hora, si la disponibilidad de "Tornería" disminuye hasta en 148 horas, siempre sin modificar otra condición o restricción que sea limitante. Si disminuyera la capacidad en mas de 148 horas la pérdida unitaria sería aún mayor, ya que se disminuye un recurso valioso en proporción superior a la estimada para el

---

El valor de la disminución que se ha calculado de cada recurso es la que puede realizarse al valor del Dual obtenido. Por ser un recurso escaso que contribuye a la generación de utilidades, si su disponibilidad se reduce aún más que en este valor, el importe del Dual correspondiente aumentará.

determinado valor del Dual. Igual razonamiento puede aplicarse a los recursos "Rectificadoras", y "Soldadura".

La contundencia de los resultados es suficiente para indicar dónde revisar las capacidades disponibles en la Planta 1. Y, tal vez, probablemente ***en los del Segundo Grupo,*** *por el alto grado de utilización que ya presentan y que incluye la línea de "Armado Productos AP" y - sobre todo - el Recurso "Pulido y Ajuste" que se aplica a todos los bienes. Como se verá al analizar la utilización de los límites de ventas; la cantidad de producto, estimada en el área comercial como de factible colocación; estaría justificando tanto la consideración de un aumento de las horas disponibles en las primeras limitantes y, probablemente el seguimiento atento del nivel de utilización de capacidad de aquellos Centros de Trabajo que se encuentran en el umbral de saturación.*[9]

Figura 4 b 1

Cantidad óptima de uso de los recursos : Dual y Sensibilidad del Dual

ÁREA DE LA EMPRESA	LINEA DE ACTIVIDAD / CENTROS DE TRABAJO	DUAL RECURSO	CAPACIDAD DISPONIBLE		USO OPTIMO RECURSOS	USO OPTIMO RECURSOS
		$	AUMENTO HORAS/MES	DISMINUCIÓN HORAS/MES	HORAS/MES	%
1	2	3	4	5	6	7
PLANTA 1	TORNERÍA	86,32	67	146	4.115	100,00
	MECANIZADO GENERAL	0,00	Infinito	864	2.036	70,22
	CREADORAS	0,00	Infinito	683	2.419	77,97
	FRESADORAS	0,00	Infinito	268	1.012	79,05
	RECTIFICADORAS	68,48	96	43	2.849	100,00
	SEMICARTERS	0,00	Infinito	341	1.759	83,75
	LAVADO MOTORES	0,00	Infinito	90	590	86,70
	ARMADO MOTORES AP	0,00	Infinito	97	513	84,11
	ARMADO MOTORES BP	0,00	Infinito	689	2.811	80,32
	ARMADO MOTORES TOTAL	0,00	Infinito	426	3.324	88,64
	SOLDADURA	183,72	27	65	1.266	100,00
	BALANCINES	0,00	Infinito	265	1.039	78,48
	PRENSAS	0,00	Infinito	103	488	82,55
	PULIDO Y AJUSTE	0,00	Infinito	166	2.681	94,11
	PINTURA	0,00	Infinito	145	1.105	88,39
	ARMADO PRODUCTOS AP	0,00	Infinito	84	1.994	95,96
	GUILLOTINA	0,00	Infinito	296	854	68,87

[9] Con lo presentado al presente ya hay indicadores elocuentes de rumbos a seguir. Pero, para aprovechar la capacidad resolutiva del modelo debemos recordar que ESTE es integral, y por ello el cambio en parámetros tales como la disponibilidad de más de algún recurso limitante lleva a una nueva secuencia de optimización que posibilita revisar las utilidades potenciales de los productos y las capacidades que demandan. Lo importante, precisamente es que en este ambiente decisional uno no se encuentra limitado en cuanto al nivel, cantidad y profundidad de las evaluaciones que se pueden introducir en la empresa. Debe tenerse siempre presente que lo que se obtiene es una solución para optimizar recursos escasos - en sentido amplio -, y en un proceso iterativo de evaluación se hallará, en algún momento, a aquél recurso que no pueda perder dicha condición: recién allí puede uno detenerse.

Además, lo expuesto muestra la necesidad de incorporar la hipótesis de que la importancia del "Outsourcing" como fuente de negocios en el resultado arribado del Programa Óptimo, no es consecuencia de la situación competitiva global de la empresa, sino que puede deberse, en gran medida, a la criticidad de la disponibilidad de Capacidad en algunos de los Centros de Trabajo de la Planta Número 1.

V.2.2. USO ÓPTIMO DE LAS CAPACIDADES DE LA PLANTA N ° 2

Veremos ahora la situación de los recursos de la Planta 2. De la col. 7 de la Figura 4 b 2, surge que:

Figura 4 b 2

Cantidad óptima de uso de los recursos : Dual y Sensibilidad del Dual

ÁREA DE LA EMPRESA	LINEA DE ACTIVIDAD / CENTROS DE TRABAJO	DUAL RECURSO	CAPACIDAD DISPONIBLE		USO OPTIMO RECURSOS	USO OPTIMO RECURSOS
			AUMENTO	DISMINUCIÓN		
		- $ -	HORAS/MES	HORAS/MES	HORAS/MES	%
1	2	3	4	5	6	7
PLANTA 2	BALANCINES	0,00	Infinito	104	554	84,12
	CORTE	0,00	Infinito	108	167	60,86
	GUILLOTINAS	0,00	Infinito	50	87	63,31
	TÚNEL DE LAVADO	0,00	Infinito	78	111	58,85
	SOLDADURA	0,00	Infinito	398	5.300	93,01
	MECANIZADO GENERAL	4,160.98	16	46	317	100,00
	PULIDO Y AJUSTE	0,00	Infinito	52	1.056	95,33
	RETRABAJOS SOLDAD. Y PULIDO	0,00	Infinito	115	418	78,43
	DESOXIDADO Y FOSFATIZADO	0,00	Infinito	141	334	70,42
	PINTURA	0,00	Infinito	412	1.740	80,85
	RETRABAJO PINTURA	0,00	Infinito	158	502	76,09
	MONTAJE MOTOR	0,00	Infinito	140	520	78,85
	PREMONTAJES SUBCONJUNTO 1	0,00	Infinito	300	1.757	85,40
	PREMONTAJES SUBCONJUNTO 2	0,00	Infinito	118	478	80,18
	ARMADO SUB CONJUNTO 3	0,00	Infinito	147	753	83,61
	LINEA DE MONTAJE	0,00	Infinito	445	1.905	81,07
	REPARACIONES	0,00	Infinito	98	583	85,56

Solo hay una limitante efectiva, localizada en el Centro de Trabajo "Mecanizado General", pero, de una envergadura tal, que la hora adicional - ver col. 3 - resulta valuada en $ 4.160,98 .

Están prácticamente en el umbral de saturación, dos Centros de Trabajo :

"Soldadura" y "Pulido y Ajuste" que realizan actividades para todos los productos de Baja Potencia y en menor medida para algunos componentes de exportación. *En el resto de los Recursos hay capacidad disponible, o sea que no limitarían la producción en el contexto de las restricciones, límites y objetivos establecidos en el modelo.*

Los resultados cuantitativos reclaman considerar en primer lugar la expansión de "Mecanizado General" ya que su Dual es elevado. Pero, como el recorrido en el cual este Recurso puede contribuir al aumento de beneficios, es pequeño, alcanza solo a 16 horas mes. Por ello, probablemente se necesite evaluar las capacidades de otros Centros. En principio a los otros dos Recursos de esta Planta con elevada saturación y, obviamente, además aquellos otros tres recursos que son limitantes efectivos en la Planta 1. Sobre todo porque en la Planta 1 se realizan las primeras etapas productivas y que abastecen de componentes a la Planta 2.

PARTE V. CAPÍTULO 3. USO ÓPTIMO DE LÍMITES ESTRATÉGICOS Y EL DUAL DE LOS LÍMITES

La introducción de metas u objetivos estratégicos dentro del cuerpo de las restricciones del modelo, es un modo muy efectivo para contemplar objetivos múltiples, adicionales al de la maximización de las utilidades, en la programación y optimización de la empresa. Estas metas estratégicas son evaluadas por su contribución a la utilidad de la empresa en el momento de computarse los valores Duales de cada una de ellas. Así se amplía el alcance del Modelo sin afectar la Función Objetivo, introduciendo las metas estratégicas dentro de las condiciones estructurales del Modelo, las que habitualmente solo están referidas a la actividad manufacturera[10]. En esta formulación del Modelo, el optimizador jerarquiza el cumplimiento de las metas estratégicas, por la contribución (positiva o negativa) de cada una de ellas a la utilidad total de la empresa.

10

Una alternativa a este método es el "Goal Programming" que requiere la reformulación de la Función Objetivo introduciendo en ella, además del máximo de utilidad, las diferentes metas. Éstas y la utilidad son ponderadas con prioridades, y el resultado de la optimización es un mix de un determinado nivel de utilidad y una cobertura parcial de las metas [ver 10 Cap. 13].

Los resultados, para todas las Restricciones Estratégicas están presentados en la Figura 4 c. Los valores del límite para cada Restricción, y sus variaciones (Aumento, Disminución), se expresan en diferentes unidades de medida: el "Outsourcing" en unidades a adquirir; las metas comerciales en unidades de producto a vender; las exportaciones en unidades a exportar al "partnership", y el financiamiento en unidades monetarias.

V.3.1. EL USO DEL "OUTSOURCING" PARCIAL DE PRODUCCIÓN

El "Outsourcing", como Restricción, no interesa analíticamente por tipo de producto. Esto se debe a que lo que se evalúa es la conveniencia de su utilización total como otro recurso para la empresa. El límite máximo es de 2600 unidades, y está reproducido en la col. 3 de la Figura 4 c. Veamos los resultados:

èEn la solución óptima, el "Outsourcing" se usa al 100% (col. 8) ,o sea que el Programa Óptimo requiere las 2600 unidades, (col. 7). Pueden adicionarse 630 unidades (col. 5), a las 2600 fijadas en el límite máximo (col. 3). **El Dual (col. 4) indica que asi podría aumentar la utilidad en $ 29,29 por unidad, por lo que el beneficio total podria incrementarse en $18.453. - mensuales.**

Lo que impide expandir el límite más allá de las 630 unidades, está en el resto de las restricciones del modelo, p.e. en aquellos recursos propios de la empresa y no forman parte de la actividad del proveedor, ya que acá se está midiendo en cuanto puede variarse éste límite considerando dados el resto de condiciones.

Finalmente, en la col. 6 Disminución, puede observarse que el valor del límite máximo podría ser reducido hasta en 354 unidades, pero al costo de perder $29, 29. - por unidad.

Recuérdese que con la aplicación del valor del Dual de un recurso se pueden calcular las utilidades adicionales, en el caso de que se incrementen los valores del límite usado plenamente. Alternativamente, los valores de los Duales permiten calcular las pérdidas que producirá una disminución en el valor de una limitante efectiva, que es el caso que estamos exponiendo en este párrafo.

Figura 4 c

Uso óptimo de las Restricciones estratégicas: Dual y Sensibilidad del Dual

ÁREA DE LA EMPRESA	RESTRICCIONES ESTRATÉGICAS OUTSOURCING PARCIAL POLÍTICA COMERCIAL INTEGRACIÓN INDUSTRIAL FINANZAS	LÍMITES DEL MODELO	DUAL DEL LÍMITE	AUMENTO DISMINUCIÓN EN RESTRICCIONES ESTRATÉGICAS AUMENTO	DISMINUCIÓN	USO ÓPTIMO LÍMITES UNIDADES	USO ÓPTIMO LÍMITES %
1	2	3	4	5	6	7	8
PRODUCCIÓN	MÁXIMO OUTSOURCING PARCIAL	2.600	29,29	630	354	2.600	100.00
POLÍTICA COMERCIAL	MÍNIMO AP A 1	75	(488,43)	49	15	75	100.00
	MÍNIMO AP A 2	50	(259,65)	78	33	50	100.00
	MÍNIMO AP B 1	100	0,00	87	TOTAL	187	186.86
ALTA POTENCIA	MÍNIMO AP B 2	75	(135,94)	77	75	75	100.00
	MÍNIMO AP TOTAL	350	0,00	37	TOTAL	387	110.53
POLÍTICA COMERCIAL	MÍNIMO BP 1 S M.I.	2.000	0,00	600	TOTAL	2.600	130.00
	MÁXIMO TOTAL BP 1,2,3 M.I.	6.800	0,00	INFINITO	2.784	4.016	59.05
	MÁXIMO BP 1 FULL M.I.	4.500	0,00	INFINITO	4.084	416	9.24
BAJA POTENCIA	MÁXIMO BP 3 S M.I.	1.000	0,00	INFINITO	1.000	0	0.00
	MÁXIMO BP 3 FULL M.I.	1.000	176,40	332	136	1.000	100.00
	MÁXIMO BP 1 S M.I.	5.000	0,00	INFINITO	2.400	2.600	52.00
INTEGRACIÓN INDUSTRIAL	MIN. EXPORT. ESTRATÉGICAS	1.500	0,00	739	TOTAL	2.239	149.27
	MAX. EXPORT. ESTRATÉGICAS	3.000	0,00	INFINITO	761	2.239	74.63
FINANZAS	MAX. CRÉDITO COMPRAS LOCALES	$2.500.000	0,00	INFINITO	$801.220	$1.698.780	67.95
	MAX. CRÉDITO COMPRAS EXTERNAS	$900.000	0,00	INFINITO	$120.301	$779.643	86.96

V.3.2. LA POLÍTICA COMERCIAL

La variada familia de productos y los diversos objetivos comerciales, hacen que el número de filas, representativo de los límites comerciales, sea sustancialmente mayor que el del resto de las Restricciones Estratégicas. Por su parte, la especificidad de los objetivos comerciales y los resultados de la solución óptima requieren de un tratamiento detallado para cada límite formulado. Pero, como ello escapa a las posibilidades de espacio del trabajo solo mencionaremos algunos, desagregados según tipos de bienes.

V.3.2.1. LA POLÍTICA COMERCIAL: PRODUCTOS ALTA POTENCIA

Recordemos el objetivo comercial en estos bienes: garantizar una presencia mínima en el mercado. Por lo tanto, las condiciones lógicas de los límites de los productos de Alta Potencia, son en todos los casos de mayor o igual, o sea límites mínimos. Veamos a continuación los resultados obtenidos.

Consideraremos el producto AP A 1. *Según* la Figura 4 c, *la solución óptima indica que conviene producir el nivel del límite de 75 unidades, (col. 7 y 3).El Dual es negativo en $ 488,43, (col. 4), lo cual indica que este objetivo genera un costo de oportunidad por tal importe* [12]. *Otro resultado que nos proporciona el modelo es que si la empresa asume el costo de oportunidad y por algún motivo decide aumentar su producción, podría hacerlo hasta en 49 unidades adicionales (col. 5). Por lo tanto, la utilidad total disminuiría en $ 23.933.- Pero; si aumenta el límite mínimo en más de 49 unidades, el costo de oportunidad será superior a los $ 488, 43 por unidad*[13]. *Por otro lado, el nivel de la disminución en el límite mínimo es de 15 unidades (col. 6), o sea un descenso desde 75 a 60, con las cuales podría ahorrarse el costo de oportunidad de $ 488,43 por unidad. Si se disminuyé la producción en 15 unidades el aumento de utilidad total será de $ 7.326. -*[14] .

Es importante detenernos en este punto. El Dual del Límite mínimo para el Producto AP A 1 (como se dijo costo de oportunidad al ser negativo), es equivalente en valores absolutos al importe que se ha presentado en la Figura 4 a 1, del punto V.1.1. como Dual del Programa para el bien AP A 1. Se expresó allí que el importe de $488,43 era el valor incremental del margen de contribución de AP A 1 que provocaría la modificación del Programa Óptimo. Se agregó que si el margen de contribución variaba en el valor del Dual del Programa, el Programa Óptimo debería modificarse, ingresando este bien en la solución, aun cuando no podía establecerse en ese momento en que cantidad. Pues bien, ahora tenemos la información en la Figura 4 c para dar la respuesta. Si la empresa aumentara el margen de contribución

---

12

El Dual del límite mínimo para un producto nos indica: en cuanto puede variar la utilidad total (o sea en unidades monetarias y, en más o en menos) si se modifica el valor de tal límite mínimo en una unidad (en unidades físicas).

13

Si bien el modelo no determina simultáneamente con el resto de los resultados del óptimo, el importe en que subirá el costo de oportunidad hallado, si se vuelve a correr el modelo con la incorporación al límite de más de 49 unidades, se tendrá el mayor importe del nuevo dual . No obstante, puede verse conceptualmente, que el incremento de la producción de bienes que tienen costo de oportunidad, al absorber recursos escasos van limitando la producción de productos más rentables, aumentando correspondientemente el costo de oportunidad.

14

Un descenso mayor en el valor del límite no garantiza el mantenimiento del mismo valor de costo de oportunidad, sino que éste bajará, ya que las posibilidades de mejorar la utilización de los recursos disminuyen al producir menos cantidad de aquellos productos que son menos rentables.

de AP A I en $ 488,43, convendría introducir en el programa un aumento de 49 unidades adicionales a las 75 originales. Es este un modo alternativo de interpretar el valor del Dual del Límite y el valor del Aumento justificable económicamente de este producto AP A 1. Naturalmente, ello se basa en que si el margen de contribución aumenta en dicho importe, se anula el costo de oportunidad existente en AP A 1, determinando la conveniencia de su producción.

Por otra parte, es interesante juntar las conclusiones obtenidas en el análisis del Dual del Programa con las del análisis del Dual de las Restricciones. Si el margen de contribución aumenta, pero menos de $488,43, la utilidad total será mayor que la del óptimo original, pero el Programa Óptimo no deberá modificarse.

Conviene analizar, por último, con los conceptos incorporados, un posible interrogante. Puede plantearse así: ¿porque, si todos los bienes poseen efectivamente un margen de contribución positivo, no son rentables como para formar parte de la solución del modelo ?. La explicación de porque no son incluídos en la producción óptima es la base de la teoría microeconómica: tales productos contribuyen menos a la utilidad total, en relación a la contribución al beneficio total que realizan los restantes productos.

Continuamos ahora el tratamiento de los límites a nivel individual del producto AP B 1

èEl producto AP B 1, es el único de la línea AP que no posee costo de oportunidad: el Dual es cero, (col. 4). *Su producción supera el límite de 100 unidades (col. 3) el uso del límite es igual a 187 unidades (col. 7). Este es consistente con el nivel en que puede aumentarse el límite mínimo: 87 unidades (col. 5). Además, el límite puede disminuir totalmente ("Total" en col. 6), sin que se modifique la solución obtenida, porque éste es un producto competitivo en relación con los restantes productos de la empresa. O sea,* ***el nivel obtenido para la producción de AP B 1, es independiente del límite mínimo , su inclusión en la solución óptima está basada en la competitividad que posee (el Dual es cero).***

èFinalmente, consideremos la restricción referida al límite mínimo global de la categoría d e productos Alta Potencia, el que según col. 3 debe ser mayor o igual a 350 unidades. *La limitante global de bienes AP tiene un nivel ligeramente superior a la simple suma de las limitantes individuales (al sumar 300, la diferencia en más es de 50 unidades) . Esto indica que, al menos alguno de ellos (en*

el modelo se seleccionan los mas competitivos) debería superar el límite inferior de su condición individual. ***El óptimo de producción total de 387 unidades (ver col. 7) supera el límite de 350 (col. 3), y el Dual es cero.*** **Hay una vinculación muy clara entre el resultado global y el de AP B 1.** *El aumento global de 37 unidades (col. 5) por encima del límite de 350 y el Dual de cero, está asociado a las 87 unidades adicionales para AP B 1 con un Dual también de cero. Al expandirse el total de los productos AP en el producto mas rentable se comprueba la consistencia, en términos de optimización, del resultado obtenido para las variables solución a nivel global e individual.*

V.3.2.2. LA POLÍTICA COMERCIAL: PRODUCTOS BAJA POTENCIA

Podemos ampliar las conclusiones puesto que acá se han contemplado, también límites máximos. Por razones de espacio entonces analizamos solo tales condiciones de máximo. Tenemos dos tipos de situaciones:

En primer lugar el caso en el cual el valor del Dual es cero y el Aumento en el valor del límite que conserva la solución es Infinito. Siendo **el valor del Dual igual a cero** , aumentar el valor del limite es redundante, ya que el uso óptimo se alcanzó en un valor menor al límite máximo. *Observese en la col. 8 que* **ello ocurre con : A) el limite para la condición referida al Max.Total de los productos BP 1,2,3, M.I. donde el uso de la limitante es del 59,05 % ; y B) el límite de BP 1 Full M.I., BP 3 S M.I. , y BP 1 S M.I., donde el uso de las limitantes asciende a 9,24 %, 0 %, y 52 % respectivamente.** Por su parte la Disminución que se indica en col. 6 para *estos casos es la cantidad sobrante entre el valor del límite establecido en la condición de límite máximo (col. 3) y el nivel de utilización de dicho límite (col. 7).*

En definitiva, del análisis de los resultados referidos a los casos con duales iguales a cero, ya sea para los que se han establecido límites máximos (Total de los productos BP 1,2,3, M.I. y BP 1 Full M.I., BP 3 S M.I., y BP 1 S M.I.) como para los de límites mínimos (el caso no analizado BP1 S M.I.) surge que no es posible mejorar la utilidad modificando los valores de los límites comerciales del modelo.

En segundo lugar, están los casos en los que el Dual es mayor que cero, o sea que se posible aumentar la utilidad subiendo el valor del límite. ***Es el caso de:***

Máximo BP 3 Full M.I., con un Dual de $176,40 y que admite la posibilidad de aumentar la producción en 332 unidades. *Es decir, si la limitante se fija en un nivel de 1332 el beneficio aumentaría en $ 58.500 mensuales. Asimismo, si el límite se reduce en la cantidad instalada en col. 6 (136 unidades) el beneficio disminuiría en el importe del Dual multiplicado por las 136 unidades. Si el límite se reduce en mas que las 136, la perdida sería superior* [15].

En conclusión, los productos BP en conjunto están muy por debajo de las posibilidades del mercado, reforzando el criterio de balancear las capacidades para aumentar la producción. En el caso de BP 3 Full M.I. p.e. convendría rever rápidamente las condiciones comerciales para introducir más unidades en el mercado.

V.3.3. INTEGRACIÓN INDUSTRIAL AL "PARTNERSHIP"

En esta Restricción se han establecido un límite máximo (puesto por la empresa) y otro mínimo (precisado por el "partnership"), a nivel global y no por productos, como en el caso del "Outsourcing".

El resultado obtenido es una producción de 2239 unidades (col. 7). Dicho valor se encuentra entre los límites mínimos y máximos (col. 3), el que naturalmente incluye la suma de los productos incluidos en el Programa Óptimo: el X 3 y el X 6. Este resultado no podría ser mejorado, alterando el nivel de los límites, ya que el valor del Dual en las dos restricciones es cero (col. 4). El límite máximo de 3000, no debe incrementarse ya que al no estar usado plenamente en la solución sería redundante (por ello, se indica "Infinito" en col. 5). El límite mínimo de 1500, podría incrementarse en el exceso del resultado respecto del valor de la condición mínima respectiva,(739 unidades, col.5), sin que por ello se altere la solución para el programa.

Desde el punto de vista de la formalización del Modelo, el límite mínimo también podría ser disminuido totalmente (col. 6), o lo que es lo mismo: eliminada la

---

15

Es una situación similar a la descripta en notas al pié anteriores, pero referida ahora al caso recíproco de un límite MÁXIMO. Si se disminuye progresivamente la producción de un bien competitivo el costo de oportunidad aumenta progresivamente.

condición, ya que la exportación es rentable al hallarse en la solución con un valor superior al del límite mínimo. Pero, ello no se recomienda debido a que si hay cambios ulteriores en el modelo para incluir modificaciones de cualquier naturaleza podría modificarse el resultado y en ese caso no se dispondría de las sensibilidades cuantitativas de este límite.

V.3.4. FINANZAS

Se ha expresado un límite máximo para cada una de las fuentes de compras: locales y externas. El resultado es un requerimiento financiero dentro de las posibilidades que existen para la adquisición de los insumos: crédito doméstico por $1.698.780.= y crédito para importaciones por $ 773.643.=

Por lo tanto, el valor del Dual es cero en ambos casos, y obviamente, los aumentos de los límites pueden ser de Infinito, sin cambiar la situación , ya que los niveles actuales no son superados. **Por su parte,** la disminución de los límites, sin que se modifique el resultado del Programa Óptimo, (col. 6), es igual a la parte del crédito no utilizada para el financiamiento de las compras del Programa Óptimo.

Pero, si bien en el resultado obtenido, el financiamiento no es limitante y por lo tanto el Dual no es superior a cero, es interesante explicitar el significado para el caso de que el Dual adopte un valor mayor que cero, como consecuencia de que alguna de las dos fuentes de crédito se hubiera usado plenamente. **En tal caso, el Dual sería el equivalente al valor de la máxima tasa de interés - en tanto por uno - que podría pagarse por el crédito necesario, ya que su uso en la producción permitiría lograr un beneficio de dicha magnitud. También en la col. 5 Aumento de crédito aparecería un valor mayor a cero, - representando el monto de crédito adicional que podría ser aprovechado a ese costo, y siempre que se mantengan las restantes condiciones formuladas en el modelo para la empresa.**

PARTE V. CAPÍTULO 4.COSTO DE OPORTUNIDAD DE LOS PRODUCTOS QUE NO ENTRARON EN LA SOLUCIÓN

Este capítulo responde la siguiente cuestión. ¿ en cuánto se modificaría el beneficio total si se incluyeran en el programa de producción los productos que no fueron considerados en el Óptimo?. La respuesta apropiada y que surge del modelo se presenta en la Figura 4 d. En la col. 2, se presenta el importe del Dual de los Productos que no ingresaron en la solución del Programa Óptimo. *Los valores son negativos, lo cual indica que todos tienen un costo de oportunidad por el cual no formaron parte de la solución. Por lo tanto representan la pérdida por unidad de cada producto que tendría la empresa si los incorporara en el programa de producción.*

En la columna 4 Aumento [15]*, se muestra la cantidad máxima de unidades que se podrían incorporar - considerado individualmente por cada bien - al Programa Óptimo; ya sea porque el margen de contribución se incrementa tanto que absorbe el costo de oportunidad del producto correspondiente, o en caso de que no haya cambios en el margen, la empresa estuviera dispuesta a asumir la correspondiente pérdida. Dichas unidades se podrían producir, pero, obviamente, como los recursos aplicados al Programa son escasos, la producción adicional de estos bienes será necesariamente a costa de una recomposición en la producción de*

Figura 4 d

El Dual de producir bienes que no formaron parte de la solución: sensibilidad del Dual

	DUAL DEL PRODUCTO NO COMPETITIVO	PRODUCCIÓN	
		RESULTADO OPTIMO	POSIBLE AUMENTO
LINEA DE PRODUCTOS	-EN $-	EN UNIDADES	EN UNIDADES
1	2	3	4
BP 1 S	(8,66)	0	554
BP 1 FULL (i)	(4,34)	0	600
BP 2	(136,68)	0	282
BP 3 S	(25,07)	0	332
BP 3 S (i)	(26,41)	0	385
BP 3 FULL (i)	(4,34)	0	600
X 1	(81,47)	0	277
X 2	(3,47)	0	277
X 4	(59,54)	0	260
X 5	(58,00)	0	243

[16] En este caso no existe una columna Disminución como en las anteriores Figuras , ya que la condición que estamos evaluando es aquella que establece que la producción debe ser mayor o igual a cero, por lo tanto no tiene entidad una disminución de producción respecto de un valor original nulo

los bienes que entraron originalmente en la solución del Programa Óptimo.

PARTE V. CAPÍTULO 5. CONSIDERACIONES FINALES

Como se ha visto, es muy potente la capacidad resolutiva del Modelo. Planteado con un enfoque integral, el que incluye explícitamente aspectos estratégicos no solo de la empresa -comerciales y financieros - sino en relación a proveedores y partners - requerimiento básico de una economía global - permite obtener resultados útiles para la evaluación cuantitativa de opciones de corto y mediano plazo en cuanto a: i) el Programa Óptimo de Producción; ii) el nivel adecuado de 'Outsourcing", así como también la evaluación de posibilidades de 'Insourcing"; iii) la determinación de las limitantes efectivas de recursos físicos y financieros; iv) los límites y potencialidad del mercado y v) los costos de oportunidad de todos los productos y recursos.

También, de haberse contado con espacio, se hubieran podido mostrar simulaciones frente a cambios de los límites así como del margen de contribución y los coeficientes de las relaciones de insumo producto.

Con este método, en vez de decidir en etapas, o analizar parcialmente posibles combinaciones de variables, pueden obtenerse en bloque el Programa Óptimo de la empresa, sus sensibilidades y todas sus primeras repercusiones. En suma, se accede a un resultado optimizado programando estratégicamente el accionar de la empresa.

Dentro de la información que se obtiene, caben destacar los datos referidos a:

1.Las ventajas que tiene la solución óptima en relación a otras también factibles, 2.La posibilidad de mejorar la solución óptima a través de decisiones parciales que abarcan:

- la política comercial,
- la modificación de las capacidades productivas propias
- el relacionamiento con terceros: esto vale incluso para evaluar una situación tanto de 'Outsourcing", como de 'Insourcing" (es el caso del producto BP 2 en el caso planteado), y de relaciones con "partners" compradores de otros mercados.

•la conveniencia de revisar las posibilidades crediticias, y las modificaciones en procesos[1]

3.Adicionalmente, este método de optimización nos permite observar el negocio que está realizando la empresa desde una perspectiva integral a través de la identificación de las relaciones de los diferentes sectores involucrados. 4. Desde esta perspectiva, también es posible acceder a un nuevo campo de decisión, usualmente en el umbral de los temas de largo plazo, como es el del "resizing" a partir de algunos resultados del caso planteado. Como ello no se trató en detalle en el trabajo, solamente hemos querido dejarlo planteado.

BIBLIOGRAFÍA

[1]. Allen, R. G. D. : "Mathematical Economics", The Macmillan Company, New York 1956.

[2]. Baumol, W. J. : "Economic Theory and Operations Analysis2a Ed., Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1965.

[3]. Chase, R. B. and Aquilano, N. J. : "Dirección y Administración de la Producción y de las Operaciones", 6a. Ed.,ADDISON-WESLEY IBEROAMERICANA, S.A., 1994, Wimington, Delaware, E.U.A.

[4]. Dorfman, R. : Mathematical or "Lineal" Programming, American Economic Review, Vol. 43, diciembre, 1953.

[5]. Dorfman, R. : "Aplication of Linear Programming to the Theory of the Firm", University of Carolina Press, Berkeley, California, 1951.

[6]. Dorfman, R. , Samuelson, P. A. and Solow R. : "Linear Programming and Economic Analysis", McGraw - Hill Book Company, New York, 1958.

[7]. Gass, S. I. : PROGRAMACIÓN LINEAL Métodos y Aplicaciones", C.E.C.S.A.,México, 5a. Impresión, nov. 1985.

---

[1] Si bien esto no se consideró explícitamente en el cuerpo central del trabajo para mantener la simplicidad de la exposición de alternativas, las evaluaciones de incorporación o reemplazo de procesos en la producción de la empresa pueden ser incluidos con los mismos criterios que los adoptados para el tratamiento como fuente de negocios del "Outsourcing".

[8]. Goldratt, Eliyau M. Y Cox J.: "La Meta", Ediciones Castillo S.A. de C.V., Monterrey, Nueva León, México 1995, [9]. Ibidem: "La carrera", 1992.

[10]. Levin, R. I., Rubin, D. S. , Stinson, J. P. And Gardner, E. S. Jr. : "Quantitative Approaches to Managment", Seventh Edition, McGraw - Hill Publishing Company N. Y. ,1989.

[11]. Fernández Sánchez, E. y Vázquez Ordás, C. J. "Dirección de la Producción II. Métodos Operativos", Editorial Civitas, 1a. Edición, Madrid , 1994.

SOFTWARE: El empleado acá es el optimizador del QPW6.02. El LOTUS y el EXCEL, también disponen de la herramienta de optimización. Hay otras alternativas para problemas con número elevado de condiciones.