

PN-AAS-511

IAN-39480

INTRODUCCION AL USO DEL PROGRAMA 'MPSX'

PARA RESOLVER MODELOS DE PROGRAMACION MATEMATICA

Carlos Pomareda

Setiembre - 1980

CONTENIDO

	<u>Página</u>
	1
2. Organización de los Datos	2
3. Programa Básico de Instrucciones	9
4. Interpretación de los Resultados	24
4.1. Información Básica	24
4.2. Filas y Columnas en el Límite y a Nivel Intermedio	29
5. Almacenamiento y Recuperación de Bases	31
6. Revisión de los Datos Originales	32
7. Cambios Paramétricos	42
8. Referencias	46

- 1 -

INTRODUCCION AL USO DEL PROGRAMA 'MPSX'
PARA RESOLVER MODELOS DE PROGRAMACION MATEMATICA

1. Introducción:

La resolución de problemas grandes de programación matemática sería imposible sin el uso de computadoras. Desde que surgió el simplex han habido esfuerzos extraordinarios con resultados dignos de crédito para instrumentar programas de computación que utilizan los principios del simplex. Prácticamente todas las empresas productoras de equipos de computación han desarrollado sus respectivos programas ad-hoc. IBM ha desarrollado una serie de programas para las máquinas producidas en las diversas series. Los primeros esfuerzos fueron LPMOSS para máquinas de la serie 1620; luego el MPS para las máquinas de la serie 360 y desde 1971 el **MPSX** (Extended Mathematical Programming System) para las máquinas de la serie 360 y 370/115 y el MPSX/370 para máquinas como la 370/135 y las otras que le siguen en capacidad.

MPSX es un programa de alta eficiencia computacional y que viene siendo utilizado en forma creciente para la solución de problemas de programación lineal. En este capítulo se presentan los principios fundamentales para la utilización del **MPSX**. Con justa razón se insiste en que se trata sólo de los principios, porque existen manuales sumamente detallados que presentan con toda claridad de exposición los procedimientos de utilización del **MPSX** y el **MPSX/370** en sus diversas versiones producidas desde 1971.

Se presenta a continuación el problema de utilización óptima de recursos, el cual fue planteado, formulado y analizado en el Capítulo 6 del texto sobre Métodos Cuantitativos para la Investigación en Economía Agrícola, Volúmen II (Pomareda, 1980). Para facilidad del lector se reproduce en el Cuadro 1 el modelo original en forma matricial.

Para la utilización del programa MPSX, es preciso distinguir entre los datos del problema presentados en una forma específica y las instrucciones de control para la resolución del problema. En este documento se hace referencia estricta a las instrucciones del programa y a la organización de los datos en el formato MPSX; pero en realidad estos datos pueden también ser presentados en forma tabular y generar el modelo en formato MPSX usando el generador de matrices de IBM o un generador ad-hoc. IC² posee un programa de generación de matrices que puede usarse con MPSX/370 pero no existe una versión de uso posible con MPSX.

2. Organización de los Datos

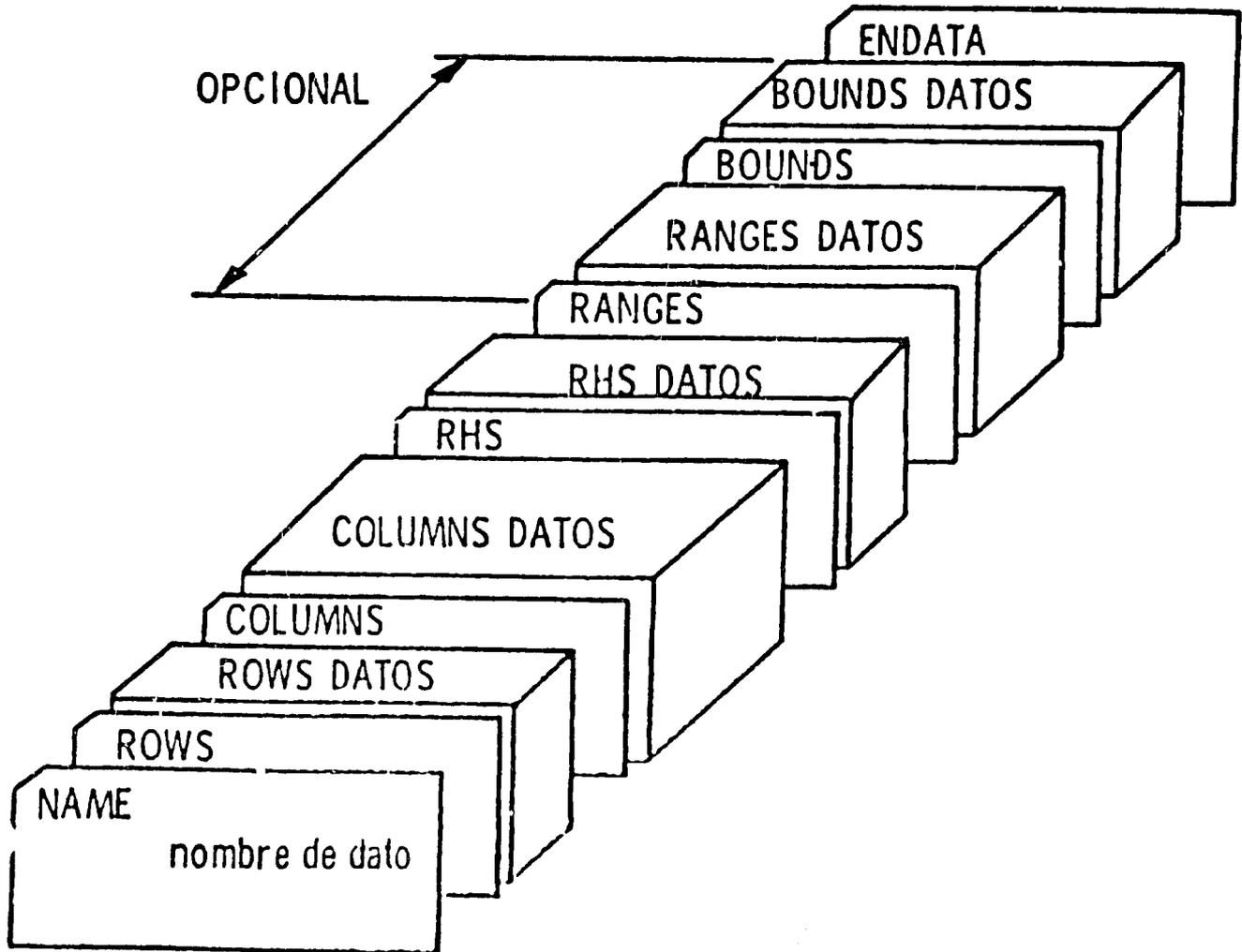
Para ser leídos y directamente utilizados por el programa MPSX los datos deben organizarse como se muestra en la Figura 1. Para la denominación de las filas y columnas se puede usar como máximo ocho

CUADRO 1: FORMULACION DE UN MODELO SIMPLE DE PL

Filas \ Cols.	Producción				Venta Productos				Compra Insumos		RHS
	Arroz	Maiz	Algodon	Pastos	V-Arroz	V-Maiz	V-Algodón	V-Past	C.Trac	C.Fert.	
Ingreso	-	-	-	-	0.15	0.12	0.25	0.10	-2.0	-6.0	Max
Tierra	1.0	1.0	1.0	1.0							≤ 120.0
Tractor	4.0	3.0	5.0	6.5					-1.0		≤ 0
Manobra	15.0	8.0	18.0	12.0							≤ 1800.
Agua	4.0	2.0	2.0	3.5							≤ 360.0
Fertil	1.5	1.0	2.0	1.5						-1.0	≤ 0
Rearroz	-1800				1.0						≤ 0
Remaiz		-1200				1.0					≤ 0
Realgod			-1600.				1.0				≤ 0
Repastos				-4500.				1.0			≤ 0
Of-Trac									1.0		≤ 500.0
Of-Fert										1.0	≤ 180.0

FIGURA 1

ORGANIZACION DE LOS DATOS

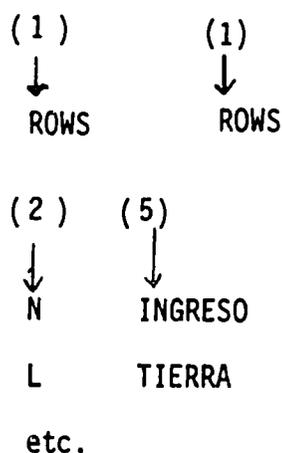


NOTA - LOS DATOS DEBEN VENIR EN EL ORDEN ANTERIOR

caracteres iniciados por una letra; pudiendo luego usarse números, puntos o letras pero no espacios en blanco ni otros caracteres. En primer lugar es preciso dar un nombre a los datos para facilitar su identificación. ^{1/}



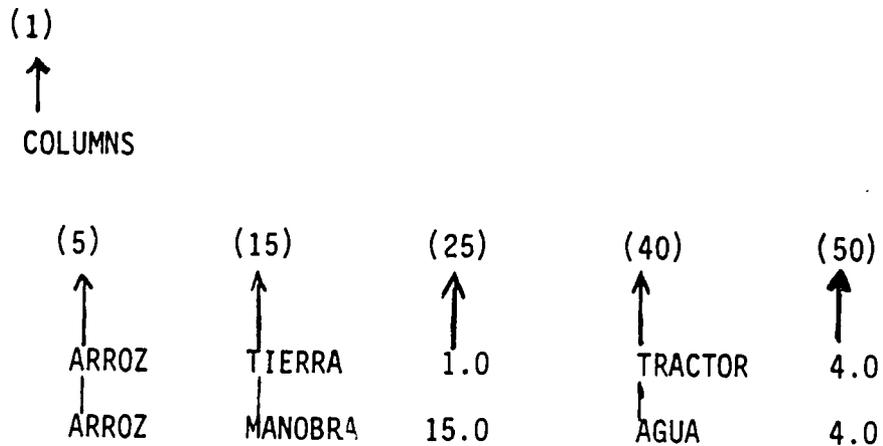
Luego se presentan las filas (ROWS). Cada nombre de fila es precedido (espacio 2) por una indicación del sentido de la desigualdad de acuerdo a la siguiente notación: L = menor o igual que; G = mayor o igual que; E = igual y N = no hay restricción. Este último se usa con la función objetivo. El nombre de la fila se inicia en el espacio 5 y se necesita una tarjeta por fila.



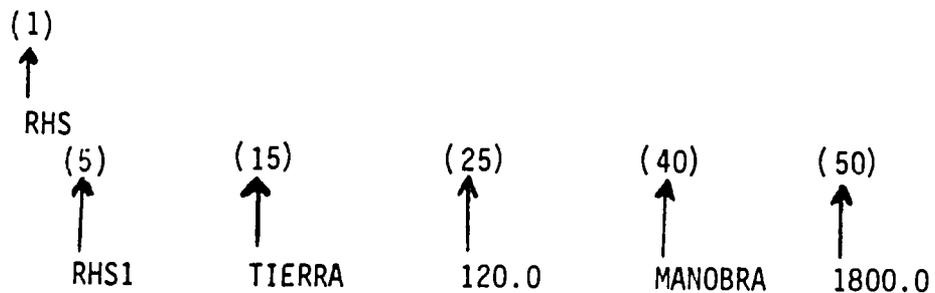
A continuación se presentan las columnas (COLUMNS). En cada tarjeta se pueden poner hasta dos coeficientes identificando las filas y el

^{1/} Los números entre paréntesis indican el espacio en la tarjeta.

valor de los coeficientes en los siguientes espacios. El nombre de la columna debe iniciarse en el espacio 5. Los nombres de las filas deben iniciarse en los espacios 15 y 40. Los valores de los coeficientes técnicos, usando siempre el punto decimal e indicando el signo negativo cuando sea requerido (los signos positivos se omiten), pueden aparecer entre los espacios 25 y 36 y entre los espacios 50 y 61. Para chequear errores es preferible alinear el punto decimal. Por ejemplo:



Luego de las columnas, se continua con la sección de las restricciones (RHS). Después de la tarjeta que identifica el inicio de esta sección, se especifican todas las restricciones diferentes de cero, habiéndole dado un nombre a la columna de RHS.



En la sección de los rangos (RANGES), se define también el nombre del rango y luego se usa un formato similar que para el vector de RHS. En el problema que aquí se presenta no se usan rangos.

Por último, la sección de los límites en las columnas (BOUNDS), es preciso identificar en el espacio 2 si se trata de un límite superior (UP), inferior (LO) o un valor fijo (FX); luego en el espacio 5 se inicia el nombre asignado al vector de BOUNDS; en el espacio 15 se inicia el nombre de la columna y entre los espacios 25 y 36 se escribe el valor. Los demás espacios quedan en blanco. En el problema que se presenta no se utilizan BOUNDS.

(1)

BOUNDS

(2)	(5)	(15)	(25)
LO	Nombre del vector BOUNDS	Nombre de columna	Valor
UP			
FX			

La tarjeta **ENDATA** indica que el set de datos ha sido completado.

Además de estas tarjetas con datos es posible incluir tarjetas con comentarios. Una tarjeta que incluye \$ como primer carácter en los campos 3 ó 5 significa que la información desde este punto hasta la columna 75 son comentarios.

El problema presentado en forma matricial en el Cuadro 1 se ha codificado para ser leído por MPSX según se indica en el Cuadro 2.

3. Programa Básico de Instrucciones

Existen numerosos procedimientos que se pueden utilizar con fines diversos, y para el uso de MPSX se distinguen varias categorías de instrucciones o procedimientos. En esta sección se hace referencia a los más importantes, los cuales constituyen un programa básico; como el que se muestra a continuación y que se ha utilizado para resolver el modelo propuesto en el Cuadro 1.

```
PROGRAM
TITLE ('EJEMPLO DE USO DE RECURSOS')
INITIALZ
MOVE (XDATA, 'DATOS')
MOVE (XPBNAME, 'PLAN1')
MOVE (XOBJ, 'INGRESO')
MOVE (XRHS, 'RHS1')
CONVERT ('CHECK', 'SUMMARY')
SETUP ('MAX')
PICTURE
PRIMAL
SOLUTION
SAVE ('NAME', 'BASE1')
RANGE
PROBLEMS ('PROBFILE')
EXIT
PEND
```

- . **PROGRAM**, crea el programa básico
- . **INITIALZ**, inicializa el proceso
- . **TITLE**- Este nombre aparece en todas las páginas y puede tener como máximo 80 caracteres
- . **MOVE (XDATA, 'DATOS')**, identifica el nombre que ha dado a los datos del problema
- . **MOVE (XPNAME, 'PLAN 1')**, identifica el nombre del problema a ser resuelto
- . **MOVE (XOBJ, 'INGRESO')**, identifica el nombre que se ha dado a la función objetivo
- . **MOVE (XBOUNDS, 'no existe')**, identifica el nombre que se ha dado a los límites en las columnas
- . **MOVE (XRHS, 'RHS')**, identifica el nombre que se ha dado a las restricciones en las filas
- . **BCDOUT ('ONE')**, requiere que los datos sean listados en el formato MPSX, como aparecen en el Cuadro 4
- . **PICTURE**, requiere que el problema se presente en forma matricial, usando una notación Alfabética como aparece en el Cuadro 5. Se da también un código de las dimensiones de los coeficientes en el Cuadro 6. MPSX no imprime la magnitud de los coeficientes en forma matricial.
- . **RANGE**, solicita que se imprima información sobre el rango de las variables (o lo que es lo mismo los intervalos para los que no afectarían las condiciones de optimalidad) y los costos unitarios. Esto será discutido mas adelante.
- . **SETUP ('MAX')**, indica que la función objetivo debe ser Maximizada. Si se omite la especificación el programa asume que se trata de un caso de minimización.
- . **OPTIMIZE**, identifica el procedimiento de optimización que se corresponde al método del simplex revisado. Alternativamente se puede usar conjuntamente las dos siguientes instrucciones:

CRASH

PRIMAL

- . **SAVE** ('NAME', 'BASE1'), almacena la base del problema en el PROBFIL, en este caso con el nombre de 'BASE1'
- . **SOLUTION**, imprime la solución actual del problema.
- . **PROBLEMS** ('PROBFIL'), es una instrucción opcional para listar los problemas que están almacenados en el PROBFIL.
- . **EXIT Y PEND**, dan por terminado el proceso.

La totalidad de tarjetas utilizadas en este problema se listan en el Cuadro 2A, donde se incluyen además las tarjetas de JCL. Los grupos de tarjetas A y B son necesarios cuando se usa MPSX en una máquina IBM/360, solo cuando el programa no ha sido catalogado. Los resultados de haber utilizado el programa básico que se acaba de describir se listan en los cuadros 3 al 13.

En la primera parte del Cuadro 3 se resume el modelo cuyos datos han sido convertidos (**CONVERT**) para el presente problema. El **SUMMARY** indica si aparecen errores en las Secciones de filas (**ROWS**), columnas (**COLUMNS**) y lados derechos (**RHS**). El problema pudiera haber sido resuelto si aparece un error menor; pero no si hubiese habido un error mayor. En ambos casos, al aparecer un error éste se identifica con un código y es preciso recurrir al manual de mensajes MPSX para identificar la naturaleza del error y la forma de resolverlo.

En la segunda parte del Cuadro 3 se lista el número de elementos diferentes de cero en cada columna. Estos pueden ser chequeados contra los que aparecen en el Cuadro 1.

En la parte superior del Cuadro 4 se lista en forma similar el número de elementos por fila y en la parte inferior el número de filas (12), el número total de variables (22)^{1/} y el número total de coeficientes diferentes de cero (50)

^{1/} Obsérvese que existen 10 variables de decisión y que se agrega una variable de holgura por cada una de las doce ecuaciones.

y la densidad de la matriz (18.93%). La densidad se calcula al dividir el número total de elementos (50) entre el número total de posibles espacios en la matriz ($12 \times 22 = 264$). Cuanto mayor la densidad de la matriz y mayor el número de filas, más tiempo tomará la solución del problema.

En el Cuadro 5 se lista el modelo en el formato MPSX indicando la totalidad de sus elementos. Este listado se obtuvo con BCDOUT y es de suma utilidad para comprobar la veracidad de los nombres de las filas y columnas y la magnitud de los coeficientes.

En el Cuadro 6 se prepara el modelo (SETUP) para ser resuelto. La instrucción PICTURE solicita imprimir el modelo en forma matricial. En el Cuadro 7 se da un código para interpretar los coeficientes algebraicos en el Cuadro 6.

En el Cuadro 8 se muestra el proceso de optimización del problema Primal; indicándose el número de iteraciones (8) que fueron necesarias hasta hallar una solución óptima; para la que el valor de la función objetivo es 36647.3. Este proceso tomó 0.15 minutos.

La solución a este problema, para la Sección filas y columnas se muestra en el Cuadro 9. La interpretación de los resultados se realiza en la próxima sección. Se presenta además en los Cuadros 10 y 11 las filas y columnas en el Límite y a Nivel Intermedio producidas por la instrucción RANGE, las cuales son también analizadas en la próxima sección. El cuadro 12 indica que existe un problema en el PROFILE y que éste se llama 'PLAN1'.

CUADRO 2 A

H ↑

```
//CHPSX JOB (CUENTA-ECCAPILA),CCCPARILA,CLASS=C
//JOB113 DD DSN=MESX.SYSIN360,DISP=SHR,VCL=SER=PCP193,UNIT=2314
//CHPSX EXEC PGM=DJLCOMP
//SYSEFINI DD SYSOUT=A
//SYSMLCP DT UNIT=SYSDA,DISP=(NEW,PASS),SPACE=(TRK,(5,2))
//SCRATCH1 DD UNIT=SYSIA,SPACE=(TRK,(5,2))
//SCRATCH2 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(TRK,(5,2))
//SCRATCH3 DD UNIT=SYSIA,SPACE=(TRK,(5,2))
//SCRATCH4 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(TRK,(5,2))
//SYSIN DD *
```

```
PROGRAM
INITIALZ
TITLE('EJEMPLO DE USO DE RECURSOS')
MCVE(XDATA,'DATOS')
MCVE(XEENAPE,'FIAN1')
MCVE(XCEJ,'INGRESO')
MCVE(XRFS,'RES1')
CONVERT('SUMMARY')
ECLUT('CNE')
SETLE('MPX')
PICURE
EPICAL
SOLUTION
SAVE('NAME','BASE1')
RANGE
EFCBIEMS('EFOBFILE')
```

S ↑

```
//EX EXEC PGM=DJLEXFC,PARM=TASK
//SYSEFINI DD SYSOUT=A
//SYSMLCP DD DSN=*.MESX.SYSIN360,DISP=(OLD,DELETE)
//SCRATCH1 DD UNIT=SYSIA,SPACE=(CYL,(10))
//SCRATCH2 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(CYL,(10))
//MATRIX1 DD UNIT=SYSIA,SPACE=(CYL,(10))
//MATRIX2 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(CYL,(10))
//ETA1 DD UNIT=SYSIA,SPACE=(CYL,(10))
//ETA2 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(CYL,(10))
//PROFILE DD UNIT=SYSIA,SPACE=(TRK,(50,10))
//SYSIN DD *
//
```

EXECUTOR. MPSX RELEASE 1 MOD LEVEL 6

CONVERT DATOS TO PLAN1

TIME = 0.01

SUMMARY

1- ROWS SECTION.

0 MINOR ERROR(S) - 0 MAJOR ERROR(S).

2- COLUMNS SECTION.

0 MINOR ERROR(S) - 0 MAJOR ERROR(S).

3- RHS'S SECTION.

RHS1

0 MINOR ERROR(S) - 0 MAJOR ERROR(S).

EXECUTOR. MPSX RELEASE 1 MOD LEVEL 6

NUMBER OF ELEMENTS BY COLUMN ORDER

13	ARROZ	.....6	MAIZ	.....6	ALGODON	.....6
20	V-PAST	.....2	C-TRAC	.....3	C-PERT	.....3

PASTOS6	V-ARROZ2	V-MAIZ2
--------	--------	---------	--------	--------	--------

V-ALGODO2

EXECUTOR. MPSX RELEASE 1 MOD LEVEL 6

NUMBER OF ELEMENTS BY ROW ORDER, EXCLUDING RHS'S, INCLUDING SLACK ELEMENT

1	N	INGRESO	.....7	L	TIERRA	.....5	L	TRACTOR	.....6	L	MANOBRA	.....5
8	L	REMAIZ	.....3	L	REALGOD	.....3	L	REPASTOS	.....3	L	OP-TRAC	.....2

L	AGUA	.....5	L	PERTIL	.....6	L	REARROZ	.....3
L	OP-PERT	.....2						

PROBLEM STATISTICS

12 LP ROWS, 22 VARIABLES, 50 LP ELEMENTS, DENSITY = 18.93

THESE STATISTICS CONTAIN ONE SLACK VARIABLE FOR EACH ROW

0 MINOR ERRORS 0 MAJOR ERRORS.

NAME DATCS
 BJS
 M INGRESO
 L TIERRA
 L TRACTOR
 L MANOBRA
 L AGUA
 L FERTIL
 L REARROZ
 L REMAIZ
 L REALGOD
 L REPASTOS
 L OF-TRAC
 L OF-PERT

CUADRO 5

COLUMNS

ARROZ	TIERRA	1.00000
ARROZ	TRACTOR	4.00000
ARROZ	MANOBRA	15.00000
ARROZ	AGUA	4.00000
ARROZ	FERTIL	1.50000
ARROZ	REARROZ	- 1800.00000
MAIZ	TIERRA	1.00000
MAIZ	TRACTOR	3.00000
MAIZ	MANOBRA	8.00000
MAIZ	AGUA	2.00000
MAIZ	FERTIL	1.00000
MAIZ	REMAIZ	- 1200.00000
ALGODON	TIERRA	1.00000
ALGODON	TRACTOR	5.00000
ALGODON	MANOBRA	18.00000
ALGODON	AGUA	2.00000
ALGODON	FERTIL	2.00000
ALGODON	REALGOD	- 1600.00000
PASTOS	TIERRA	1.00000
PASTOS	TRACTOR	6.50000
PASTOS	MANOBRA	12.00000
PASTOS	AGUA	3.50000
PASTOS	FERTIL	1.50000
PASTOS	REPASTOS	- 4500.00000
V-ARROZ	INGRESO	.15000
V-ARROZ	REARROZ	1.00000
V-MAIZ	INGRESO	.12000
V-MAIZ	REMAIZ	1.00000
V-ALGODO	INGRESO	.25000
V-ALGODO	REALGOD	1.00000
V-PAST	INGRESO	.10000
V-PAST	REPASTOS	1.00000
C-TRAC	INGRESO	- 2.00000
C-TRAC	TRACTOR	- 1.00000
C-TRAC	CF-TRAC	1.00000
C-FERT	INGRESO	- 6.00000
C-FERT	FERTIL	- 1.00000
C-FERT	OF-PERT	1.00000
RHS		
RHS1	TIERRA	120.00000
RHS1	MANOBRA	1800.00000
RHS1	AGUA	360.00000
RHS1	OF-TRAC	500.00000
RHS1	CF-FERT	180.00000

ENDATA

SETOP PLAN1

TIME = 0.09

MAX
SCALE

MATRIX1 ASSIGNED TO MATRIX1
MATRIX2 ASSIGNED TO MATRIX2

ETA1 ASSIGNED TO ETA1
ETA2 ASSIGNED TO ETA2

SCRATCH1 ASSIGNED TO SCRATCH1
SCRATCH2 ASSIGNED TO SCRATCH2

MAXIMUM PRICING NOT REQUIRED - MAXIMUM POSSIBLE 7

NO CYCLING

FOOLS	NUMBER	SIZE	CORE
H.REG-BITS MAP			64
WORK REGIONS	9	120	1080
MATRIX BUFFERS	3	432	1296
ETA BUFFERS	4	1056	4224

	TOTAL	NORMAL	-FREE.	FIXED	BOUNDED
ROWS (LOG.VAR.)	12	11	1	0	0
COLUMNS (STR.VAR.)	10	10	0	0	0

50 ELEMENTS - DENSITY = 18.93 - 3 MATRIX RECORDS (WITHOUT RHS'S)

PICTURE - USING PLAN1

TIME = 0.12

	A	V	-	V	A	V	C	C
A	G	A	A	-	L	-	-	-
R	M	O	S	R	M	G	P	T
R	A	C	T	R	A	C	A	R
C	I	O	O	O	I	D	S	A
Z	Z	N	S	Z	Z	O	I	C
INGRESO	N			1	1	1	U	A
TIERRA	L	1	1	1	1			C
TRACTOR	L	A	A	A	A		-1	
MANOBRAS	L	E	A	E	E			
AGUA	L	A	A	A	A			C
FERTIL	L	A	A	A	A		-1	
REARROZ	L	-D						
REMAIZ	L	-D		1				
REALGOD	L	-D			1			
REPASTOS	L		-D			1		
OP-TRAC	L						1	C
OP-FERT	L							C

SUMMARY OF MATRIX

SYMBOL	RANGE	COUNT (INCL. RHS)	
Z	LESS THAN	.000001	
Y	.000001 THRU	.000009	
X	.000010	.000099	
W	.000100	.000999	
V	.001000	.009999	
U	.010000	.099999	1
T	.100000	.999999	3
I	1.000000	1.000000	13
A	1.000001	10.000000	14
B	10.000001	100.000000	3
C	100.000001	1,000.000000	4
D	1,000.000001	10,000.000000	5
E	10,000.000001	100,000.000000	
F	100,000.000001	1,000,000.000000	
J	GREATER THAN	1,000,000.000000	

MINIMUM = .100000E+00 MAXIMUM = .450000E+04

EXECUTOR. MPSX RELEASE 1 MOD LEVEL 6

PRIMAL OBJ = INGRESO RHS = RHS1

TIME = 0.14 MINS. PRICING 7
SCALE = 1.00000-

	ITER NUMBER	NUMBER NONOPT	VECTOR OUT	VECTOR IN	REDUCED COST	FUNCTION VALUE
M	1	4	9	19	1.00000-	.
	2		7	17	1.00000-	.
	3		10	20	1.00000-	.
	4		8	18	1.00000-	.
M	5	4	3	15	27.1847-	.
M	6	1	6	21	27.8489-	.
M	7	2	12	22	29.0164-	34020.0
	8		11	16	6.32370-	36647.3

OPTIMAL SOLUTION

SOLUTION (OPTIMAL)

TIME = 0.15 MINS. ITERATION NUMBER = 8

...NAME...	...ACTIVITY...	DEFINED AS
FUNCTIONAL RESTRAINTS	36647.27273	INGRESO RHS1

CUADRO 9

SECTION 1 - ROWS

NUMBER	...ROW..	AT	...ACTIVITY...	SLACK ACTIVITY	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	.DUAL ACTIVITY
1	INGRESO	BS	36647.27273	36647.27273-	NONE	NONE	1.00000
2	TIERRA	BS	54.54545	25.45455	NONE	120.00000	.
3	TRACTOR	UL	.	.	NONE	.	54.54545-
4	MANOBRA	BS	1592.72727	207.27273	NONE	1800.00000	.
5	AGUA	BS	216.36364	143.63636	NONE	360.00000	.
6	FERTIL	UL	.	.	NONE	.	63.63636-
7	REARROZ	UL	.	.	NONE	.	.15000-
8	REMAIZ	UL	.	.	NONE	.	.12000-
9	REALGOD	UL	.	.	NONE	.	.25000-
10	REPASTOS	UL	.	.	NONE	.	.10000-
11	OF-TRAC	UL	500.00000	.	NONE	500.00000	52.54545-
12	OF-FERT	UL	180.00000	.	NONE	180.00000	57.63636-

SECTION 2 - COLUMNS

NUMBER	.COLUMN.	AT	...ACTIVITY...	..INPUT COST..	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	.REDUCED COST.
13	ARROZ	LL	.	.	.	NONE	43.63636-
14	MAIZ	LL	.	.	.	NONE	83.27273-
15	ALGODOC	BS	76.36364	.	.	NONE	.
16	PASTOS	BS	18.18182	.	.	NONE	.
17	V-ARROZ	BS	.	.15000	.	NONE	.
18	V-MAIZ	BS	.	.12000	.	NONE	.
19	V-ALGODO	BS	122181.81818	.25000	.	NONE	.
20	V-PAST	BS	81818.18182	.10000	.	NONE	.
21	C-TRAC	BS	500.00000	2.00000-	.	NONE	.
22	C-FERT	BS	180.00000	6.00000-	.	NONE	.

SECTION 1 - ROWS AT LIMIT LEVEL

NUMBER	...ROW..	AT	...ACTIVITY...	SLACK	ACTIVITY	..LOWER LIMIT. ..UPPER LIMIT.	LOWER ACTIVITY UPPER ACTIVITY	...UNIT COST.. ...UNIT COST..	..UPPER COST.. ..LOWER COST..	LIMITING PROCESS.	AT
3	TRACTOR	UL	-	-	-	NONE	49.99999- 197.49999	54.54541- 54.54541		PASTOS AGUA	LL UL
6	FERTIL	UL	-	-	-	NONE	64.61536- 70.99999	63.63637- 63.63637		ALGODON MANOBRA	LL UL
7	REARROZ	UL	-	-	-	NONE	INFINITY	.15000- .15000		V-ARROZ NONE	LL
8	REHAIZ	UL	-	-	-	NONE	INFINITY	.12000- .12000		V-MAIZ NONE	LL
9	REALGOD	UL	-	-	-	NONE	122181.65890- INFINITY	.25000- .25000		V-ALGODO NONE	LL
10	REPASIOS	UL	-	-	-	NONE	81818.15690- INFINITY	.10000- .10000		V-PAST NONE	LL
11	OP-TRAC	UL	459.95961	-	-	NONE 499.99981	449.99982 697.49978	52.54544- 52.54544		PASTOS AGUA	LL UL
12	OP-FERT	UL	179.95991	-	-	NONE 179.99991	115.38458 199.99991	57.63637- 57.63637		ALGODON MANOBRA	LL UL

SECTION 2 - COLUMNS AT LIMIT LEVEL

NUMBER	..COLUMN.	AT	...ACTIVITY...	..INPUT COST..	..LOWER LIMIT. ..UPPER LIMIT.	LOWER ACTIVITY UPPER ACTIVITY	...UNIT COST.. ...UNIT COST..	..UPPER COST.. ..LOWER COST..	LIMITING PROCESS.	AT
13	ARROZ	LL	-	-	-	NONE	43.63636	INFINITY- 43.63636	V-ARROZ AGUA	LL UL
14	MAIZ	LL	-	-	-	NONE	83.27272 83.27272	INFINITY- 83.27272	V-MAIZ TIERRA	LL UL

SECTION 3 - ROWS AT INTERMEDIATE LEVEL

NUMBER	...ROW..	AT	...ACTIVITY...	SLACK ACTIVITY	--LOWER LIMIT. --UPPER LIMIT.	LOWER ACTIVITY UPPER ACTIVITY	...UNIT COST.. ...UNIT COST..	--UPPER COST.. --LOWER COST..	LIMITING PROCESS.	AT
2	TIENNA	BS	98.54543	25.45454	NONE 119.99997	76.92307 139.99995	211.33314- 183.19999-		OP-PPPT MATZ	UL LL
4	HANOBA	BS	1592.72685	207.27266	NONE 1799.99951	923.07725 1694.11711	5.56141- 26.66667-		OP-PPPT ARROZ	UL LL
5	AGUA	BS	216.36361	143.63634	NONE 359.99995	179.99999 475.99967	72.24995- 18.82353-		OP-TRAC ARROZ	UL LL

SECTION 4 - COLUMNS AT INTERMEDIATE LEVEL

NUMBER	.COLUMN.	AT	...ACTIVITY...	--INPUT COST..	--LOWER LIMIT. --UPPER LIMIT.	LOWER ACTIVITY UPPER ACTIVITY	...UNIT COST.. ...UNIT COST..	--UPPER COST.. --LOWER COST..	LIMITING PROCESS.	AT
15	ALGODON	BS	76.36357	-	- NONE	- 83.99993	48.76925- 192.66671-	48.76925- 192.66671	OP-PPPT OP-TRAC	UL UL
16	PASTOS	BS	18.14182	-	- NONE	- 76.92301	184.49997- 63.40000-	144.49997- 63.40000	OP-TRAC OP-PPPT	UL UL
17	V-ARROZ	BS	-	.15000	- NONE	INFINITY- 111529.27787	.15010- .02424-	- .17424	PPARROZ ARROZ	UL LL
18	V-MATZ	BS	-	.12000	- NONE	INFINITY- 67199.51800	.12000- .06919-	- .13439	RMATZ MATZ	UL LL
19	V-ALGODO	BS	122181.74952	.25000	- NONE	- 143999.95819	.01048- .12012-	.21952 .37042	OP-PPPT OP-TRAC	UL UL
20	V-PAST	BS	1818.16346	.10000	- NONE	- 146153.51295	.03211- .01409-	.06789 .11409	OP-TRAC OP-PPPT	UL UL
21	C-TRAC	BS	459.55561	2.00000-	- NONE	449.99982 499.99981	52.54544- INFINITY-	54.54544- INFINITY	OP-TRAC NONE	UL UL
22	C-PERT	BS	179.99991	6.00000-	- NONE	115.38459 179.99991	57.63637- INFINITY-	63.63637- INFINITY	OP-PPPT NONE	UL UL

CUADRO 12

PAGE 18 - 80/093

EXECUTOR. MPSX RELEASE 1 MOD LEVEL 6

PROBLEMS TIME = 0.22

PROBFILE

THE FOLLOWING PROBLEMS ARE ON PROBFILE

PROBLEM PLAN1 LP PROBLEM
N ROW INGRESO
RHS RHS1

1 PROBLEM(S) PRESENT

EXIT - TIME = 0.23

4. Interpretación de los Resultados

4.1. Información básica

En el Cuadro 9 se muestra la solución del problema PLAN 1. Esencialmente la misma información en la sección filas (ROWS) se puede obtener de la sección columnas (COLUMNS).

En la sección 1: SECTION 1 - ROWS

aparecen 8 subtítulos

NUMBER	- el número asignado internamente a la fila
...ROW...	- nombre de la fila
AT	- BS=fila en nivel básico; es decir que la variable es menor que el límite superior o mayor que el límite inferior UL=fila en el límite superior
...ACTIVITY...	- nivel de uso del recurso o valor de la correspondiente ecuación (primal)
SLACK ACTIVITY	- cantidad no usada del recurso, c.e., cantidad disponible
...LOWER LIMIT...	- Límite inferior (\geq) de la ecuación
UPPER LIMIT	- Límite superior (\leq) de la ecuación
DUAL ACTIVITY	- Precio a la sombra (shadow price) de las restricciones limitantes

En la sección 2: SECTION 2-COLUMNS

aparecen también 8 subtítulos con casi los mismos nombres que en la sección filas excepto que en lugar de ROW dice COLUMNS; en lugar de SLACK ACTIVITY dice INPUT COST y en lugar de DUAL ACTIVITY dice REDUCED COST.

ACTIVITY, indica el valor de las actividades que entran en la solución óptima;

INPUT COST, indica el coeficiente en la función objetivo;

LOWER LIMIT, indica si existe un límite en las columnas en la forma de LOWER BOUND;

UPPER LIMIT, indica si existe algún límite en las columnas en la forma de UPPER BOUND;

REDUCED COST, indica la reducción necesaria en el costo de la actividad, para que ingrese a la solución óptima.

Una interpretación sucinta de algunos de los coeficientes en las secciones filas y columnas y su interpretación se presenta a continuación.

La fila 1 (INGRESO) indica que el ingreso neto de la finca es de \$36647. Nótese que para el caso de la función objetivo, el valor del INGRESO en la columna ACTIVITY es igual que en la columna SLACK ACTIVITY, indicando esto que la solución del problema primal es la misma que del dual.

En el caso de la fila 2 (TIERRA) se usan 94.54 has. y quedan sin usar 25.45 has. El precio a la sombra por consiguiente es igual a cero. En similar situación se encuentran MANOBRA y AGUA. El nivel de uso de la tierra se puede comprobar en la sección columnas cuando sumamos las áreas sembradas.

ALGODON	73.36
PASTOS	18.18
TOTAL	<hr/> 94.54 has.

En el caso de la fila 3 (TRACTOR) la restricción indica un límite ≤ 0 y ese es el nivel al que entra esta actividad, porque se trata sólo de un balance. Sin embargo en la fila 11 (OF-TRAC) la restricción es alcanzada en su nivel máximo y el precio a la sombra es de 52.54. Esto indica que el INGRESO se incrementaría (en una forma marginal) en \$52.54 por una unidad adicional, o sea por cada hora adicional de tractor. Una interpretación similar puede hacerse para el caso de fertilizantes (fila 12).

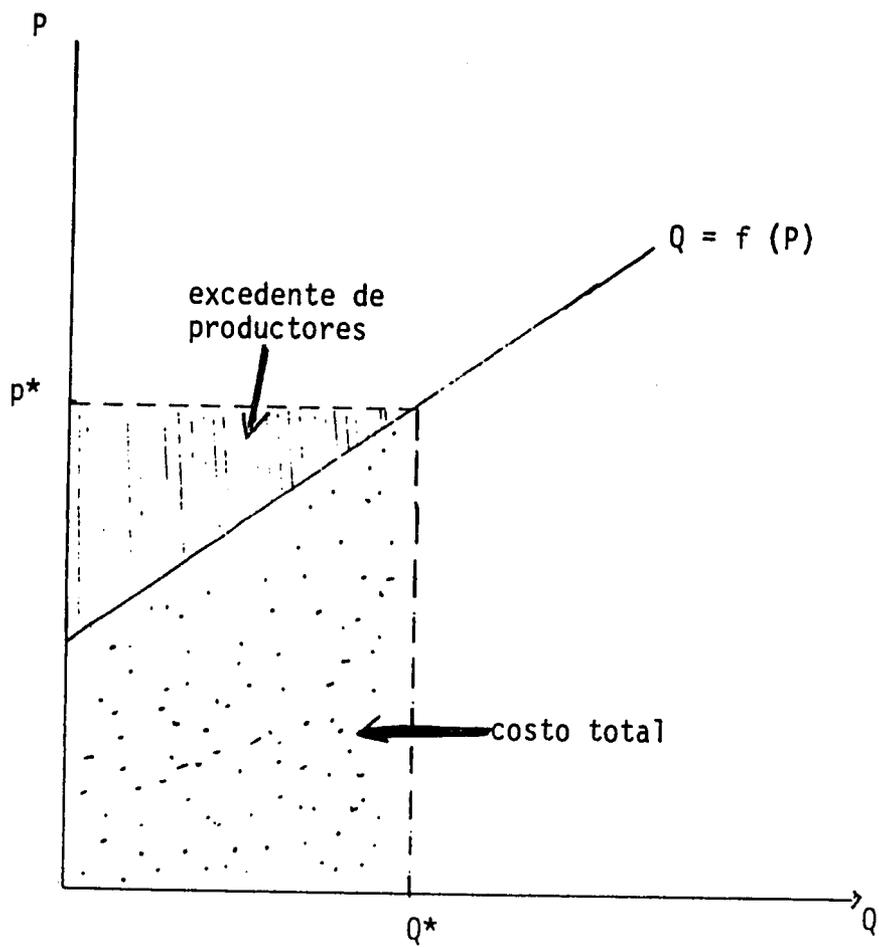
De los principios económicos que existen detrás del método matemático de programación lineal, es necesario extraer algunos conceptos. Por ejemplo, dado que la función objetivo maximiza los ingresos netos, éstos (como en la Figura 2) están dados por el ingreso total menos los costos totales, i.e. el excedente de productores, o en otras palabras el valor asignado a los recursos escasos.

De la sección filas el valor de dichos recursos es:

OF-TRAC	500 x 52.54545	=	26272.73
OF-FERT	180 x 57.63636	=	10374.54
			<hr/>
			36647.27
INGRESO	(fila 1)	=	36647.27

Este valor podría además obtenerse al restar el valor de la producción menos los costos de producción.

Figura 2. La función objetivo maximiza el excedente de productores



Las cantidades vendidas de los productos se dan en las columnas 17 a 20. Como sólo se produce algodón y pastos sólo se venden estos dos productos.

$$\text{V-ALGOD} = 122181.82 \text{ kgs.} \times 0.25 = 30545.45$$

$$\text{V-PAT} = 81818.18 \text{ kgs.} \times 0.10 = \underline{8181.82}$$

$$\text{Valor total de la Producción} = 38727.27$$

Los costos de producción son los de tractor y fertilizantes

$$\text{OF-TRAC} = 500 \times 2,0 = 1000$$

$$\text{OF-FERT} = 180 \times 6,0 = \underline{1080}$$

$$\text{Costos de Producción} = 2080$$

Por consiguiente el ingreso neto es de:

$$\text{Valor de la Producción} = 38727.27$$

$$\text{Costos de Producción} = \underline{2080.00}$$

$$\text{Ingreso neto} = 36647.27$$

En realidad también se produce arroz (columna 13) pero a un nivel ínfimo, casi cero, de modo que no aparece en la solución. Además en la misma sección columnas, aquella de REDUCED COST indica que el costo de esta actividad (ARROZ) debería reducirse en cero unidades para que entre en la solución. La situación sin embargo es más clara para el maíz (columna 14) en que se indica (columna REDUCED COST) que el costo de esta actividad deberá reducirse en \$83.27 para que esta actividad entre en la solución. Esta disminución en el costo o aumento en la rentabilidad de esta actividad, se mide como el ingreso de esta actividad (MAIZ) menos la suma de los ingresos que se dejan de percibir de aquellas actividades que se deben reducir para dar lugar a esta actividad no rentable en la solución.

4.2. Filas y Columnas en el Límite y a nivel intermedio

En el Cuadro 10 se dan las filas y columnas en el límite.

En la sección 1, filas en el límite, (ROWS AT LIMIT LEVEL) en la columna LOWER ACTIVITY/UPPER ACTIVITY, se muestra el límite inferior y el límite superior de la disponibilidad de los recursos, dentro de los cuales el set óptimo de actividades seleccionadas no variará, aunque si puede cambiar el nivel al cual entran dichas actividades. Por ejemplo en el caso de la fila 12, OF-FERT, la restricción a un nivel de 180 podría cambiar a 115.38 o a 199.99, sin que hubiese cambio en la solución. La columna UNIT COST da nuevamente el precio a la sombra de la restricción y la columna LIMITING PROCESS muestra la actividad o la actividad artificial (SLACK ACTIVITY) que saldrá de la solución óptima si la restricción cambia por encima o por debajo de los niveles mostrados en la columna LOWER ACTIVITY/UPPER ACTIVITY.

En el Cuadro 10 en la sección 2, (COLUMNS AT LIMIT LEVEL), se puede obtener información sobre cuan sensitivas son las actividades que no entran en la solución óptima respecto a los cambios en sus niveles de ingreso, precios o costos. Las únicas dos actividades que no entran en la solución son las columnas 13 y 14, i. e. ARROZ y MAIZ. En esta sección, la columna LOWER COST/UPPER COST provee la respuesta sobre sensibilidad. Debe notarse que el LOWER COST en un problema de maximización

es siempre infinito (INFINITY) indicando que una actividad no puede ser reducida a valores menores que cero (recuérdese la condición de no negatividad). La sección UPPER COST (el valor inferior) indica el nivel de ingreso al cual la actividad entraría en la solución. En el caso del MAIZ (columna 14) este ingreso deberá ser igual a 83.27). En la columna UNIT COST se identifica el costo reducido (REDUCED COST) tal como en el Cuadro 9, sección columnas. Esta es la diferencia entre su ingreso neto (o costo en este caso) y los ingresos de las otras actividades a las que substituiría al entrar en la nueva solución.

En el Cuadro 11 en la sección 3, filas a nivel intermedio, (ROWS AT INTERMEDIATE LEVEL) se da el mismo tipo de información para los recursos que no son totalmente utilizados. Por ejemplo para la fila 2 (TIERRA), de la que actualmente se usa 94.54 has. y se deja de usar 25.45, la columna LOWER ACTIVITY tiene la misma interpretación que en el caso de filas en el límite, pero la correspondiente columna UNIT COST indica el precio a la sombra que tendría este recurso si la disponibilidad de tierra fuese menor que 76.92 has., el precio a la sombra sería de 211.33. En otras palabras, habría una pérdida de 211.33 en los ingresos si la disponibilidad de tierra fuese menor que 76.92 has. La columna UPPER ACTIVITY, c.e., 139.99 para el caso de TIERRA indica el límite superior hasta el cual el recurso utilizado puede forzarse antes que entre una nueva actividad en la solución. Es decir que se podría forzar la solución a utilizar más de 120 has. de tierra, hasta un límite de 139.99 has., con una

pérdida en el ingreso de \$183.19 por cada hectárea adicional.

En el Cuadro 11, en la sección 4, COLUMNS AT INTERMEDIATE LEVEL, se provee información para las actividades en la base que no están limitadas por un bound superior o inferior. Por ejemplo en el caso de ALGODON que entra en la solución a un nivel óptimo de 76.36 (ACTIVITY), podría entrar a un máximo de 89.99 y en tal caso se reduciría la función objetivo en 192.66 por cada unidad de ALGODON que se produzca. En caso de no producirse nada de ALGODON la función objetivo se reduciría en 48.769. En el primer caso la actividad limitante sería OF-TRAC y en el segundo sería OF-FERT. Similares interpretaciones pueden hacerse para las otras columnas.

5. Almacenamiento y recuperación de bases

Estos procedimientos del MPSX son de extrema utilidad, sobre todo cuando se trata de modelos de grandes dimensiones en que el proceso de optimización es muy largo. Puede darse el caso por ejemplo que para obtener una solución óptima se demora tanto como 500 ó 700 iteraciones, lo cual, dependiendo de las características del equipo, puede tomar tanto como 2 ó 3 horas. Sin embargo, una vez creada una base, es posible guardarla mediante el procedimiento SAVE.

En el Cuadro 2 se ha utilizado la instrucción

SAVE ('NAME', BASE1')

que guarda la base del problema resuelto como **PLAN1**. Para recuperar una base almacenada es preciso recurrir a la instrucción

RESTORE ('NAME', 'BASE1')

que restaura la base guardada. El proceso de optimización (ver Cuadro 13) se inicializa a partir de esta base la cual correspondería a una iteración 'n' siendo necesario solo 'm' iteraciones adicionales sin necesidad de partir de cero.

En la próxima sección se discute el procedimiento de revisión de los datos de un problema y se ilustra la modificación del problema original contenido en el set DATOS (ver Cuadro 2). En este caso se parte de la base almacenada con el nombre BASE1; y se podrá ver que este último artificio permitió alcanzar una nueva solución óptima con solo dos iteraciones.^{1/}

6. Cambios en los Datos Originales

Es común encontrar situaciones en que es necesario revisar el problema original ya sea para adaptarlo a variaciones de la situación real o con el fin de hacer análisis de sensibilidad. Estos cambios pueden ser tan sencillos como modificar un coeficiente de rendimientos digamos de 1600

^{1/} En el caso del modelo del sector agrícola de Centroamérica (Pomareda, 1980), que tiene 998 ecuaciones y 3061 columnas, crear una solución base toma 1700 iteraciones. Partiendo de esa base varias simulaciones de política tomaron entre 150 y 250 iteraciones adicionales. La matriz del modelo base tiene 20486 elementos diferentes de cero.

kg/ha a 1800 kg/ha o pueden implicar la ampliación del número de alternativas de producción y la imposición de nuevas restricciones o varias combinaciones de estos casos.

MPSX permite utilizar un conjunto de instrucciones para revisar y modificar los datos originales, sin tener la necesidad de leer todos los datos nuevamente. Los procedimientos son el REVISE y el MODIFY. En el Cuadro 13 se muestran las instrucciones para revisar el problema original cuyo BCDOUT se dió en el Cuadro 5.

Los nuevos datos que serán añadidos y modificaron el set original se han denominado REVISION1,

MOVE (XDATA, 'REVISION1')

- El problema original PLAN1 pasa ahora a ser el problema viejo a través de la instrucción

MOVE (XOLDNAME, 'PLAN1')

- El nuevo problema cuya solución deseamos hallar se ha denominado PLAN 2, a través de la instrucción

MOVE (XPBNAME, ' PLAN2 ')

- La mayor parte de las otras instrucciones no cambian excepto que la base del problema original, almacenado bajo el nombre BASE1, es ahora recuperada y usada como punto de partida para el proceso de optimización con la instrucción

RESTORE ('NAME', 'BASE1')

y en este caso no se ha almacenado una nueva base, indicando ello que para futuros cambios o análisis de sensibilidad de este problema, se puede partir siempre de la BASE1. En forma alternativa podría haberse almacenado una nueva base, digamos BASE2.

Habiendo realizado estas instrucciones en el programa de control y habiendo identificado las modificaciones en los datos como REVISION1, se puede ahora pasar a examinar la sección de datos, cuyas características se indican en el Cuadro 14.

- La instrucción **AFTER** en el espacio 3 seguida (en el espacio 15) del nombre de una fila o columna indica la fila o columna después de la cual se va a crear una nueva fila. En este caso, después de **REPASTOS** se creará la nueva fila **RESORGO** con signo menor o igual que (L). En la sección columnas después de **PASTOS** se han añadido **SO-1** y **SO-2**; y después de **C-TRAC** se ha añadido **C-TRAC2** y después de **V-PAST** se ha añadido **V-SORG**.

La instrucción **AFTER** (en el espacio 3) sin un nombre adicional de fila o columna indica que la fila o columna que se añade (indicada en la siguiente tarjeta) será al final de todas las filas o columnas según sea el caso. En este caso las filas **OF-TR2** y **A-MAIZ** se incluyen al final de todas las filas.

- La instrucción **BEFORE** (en el espacio 3) por si sola indica que la fila o columna que se añade está antes de la primera fila o columna según sea el caso. Aquí la fila **NOBJ**^{1/} se añade antes de la función objetivo.
- La instrucción **MODIFY** se utiliza para modificar coeficientes en columnas (de la matriz o del vector de RHS) que ya existen contra, filas que ya existen o que han sido recientemente creadas en instrucciones que

^{1/} Una nueva función objetivo que será utilizada en la próxima sección para ilustrar los procedimientos de cambios paramétricos.

preceden. Por ejemplo en la columna **MAIZ** contra la fila **A-MAIZ** se ha introducido el coeficiente 1, que luego es consistente con la restricción de área de maíz especificada en el RHS:

RHS1 A-MAIZ 12.

En forma similar el intervalo de precio de venta del maíz (0.04) ha sido incorporado en la nueva función objetivo **NOBJ** (como una constante para un futuro análisis de parámetro).

Con estos ejemplos sencillos se ha ilustrado estos procedimientos auxiliares para modificación de datos. El nuevo BCDOUT que incorpora todas las modificaciones se da en el Cuadro 15 y puede contrastarse con aquel en el Cuadro 5.

La solución de este problema revisado se muestra en el Cuadro 16. Para comparar los resultados de PLAN1 y PLAN2 se presenta el Cuadro 17. Se observa que en el PLAN2 no se produce sorgo a pesar de que existe la posibilidad de hacerlo. Los cambios introducidos implican una reducción significativa de 31.63 has. en el área de algodón y un aumento en el área de pastos. Se produce una redistribución total de los recursos y no se puede decir con exactitud cuales fueron los factores que trajeron consigo estos cambios, ya que se ha cambiado también las características de la oferta de tractores. En general sin embargo la mayor disponibilidad de tractores trae consigo un incremento del área sembrada y del uso de agua de riego pero se produce una sustitución de mano de obra por maquinaria.

Este ejemplo ilustra la situación de que dadas las interrelaciones para el proceso productivo y dados los precios relativos, no se puede predecir ex-ante el cambio total en el plan de cultivos en respuesta a una o varias políticas.

CUADRO 13

```
PROGRAM  
INITIALZ  
TITLE('EJEMPLO DE USO DE RECURSOS')  
MOVE(XDATA, 'PROVISION1')  
MOVE(XOBJNAME, 'PLAN1')  
MOVE(XPPNAME, 'PLAN2')  
MOVE(XOBJ, 'INGRESO')  
MOVE(XPHS, 'RHS1')  
REVISE('SUMMARY', 'PROFILE')  
SETUP('MAX')  
DESTEP('NAME', 'BASE1')  
RESULT('ONE')  
OPTIMIZE  
SOLUTION  
EXIT  
PEND
```

CUADRO 14

EJEMPLO DE LOS RECURSOS

REVISE PLAN1 TO PLAN2 ACCORDING TO REVISION

TIME = 0.01

SUMMARY
PROBFILE

1- ROWS SECTION.

AFTER	REPASTOS
L RESORGO	
AFTER	
L OF-TR2	
G A-MAIZ	
BEFORE	
N NOBJ	

0 MINOR ERROR (S) - 0 MAJOR ERROR (S)

2- COLUMNS SECTION.

AFTER	PASTOS	
SO-1	TIERRA	1.0
SO-1	MANOBRA	7.0
SO-1	FERTIL	1.5
SO-1	TRACTOR	3.5
SO-1	AGUA	2.5
SO-1	RESORGO	-1400.
SO-2	TIERRA	1.0
SO-2	MANOBRA	7.0
SO-2	FERTIL	2.0
SO-2	TRACTOR	3.5
SO-2	AGUA	2.5
SO-2	RESORGO	-1700.
AFTER	C-TRAC	
C-TRAC2	INGRESO	-2.2
C-TRAC2	TRACTOR	-1.0
C-TRAC2	OF-TR2	1.0
AFTER	V-PAST	
V-SORG	INGRESO	0.15
V-SORG	RESORGO	1.0
MODIFY		
MAIZ	A-MAIZ	1.0
V-MAIZ	NOBJ	0.04

0 MINOR ERROR(S) - 0 MAJOR ERROR (S)

3- RHS'S SECTION.

MODIFY		
RHS1	OF-TR2	100.0
RHS1	A-MAIZ	12.0

0 MINOR ERROR(S) - 0 MAJOR ERROR(S)

CUADRO 15
EJEMPLO DE USO DE RECURSOS

USO	REVISION	SO-2	AGUA	2.50000
USO		SO-2	RESORGO	- 1700.00000
V NOBJ		V-ARROZ	INGRESO	.15000
V INGRESO		V-ARROZ	REARROZ	1.00000
L TIERRA		V-MAIZ	INGRESO	.12000
L TRACTOR		V-MAIZ	REMAIZ	1.00000
L MANOBR A		V-MAIZ	NOBJ	.04000
L AGUA		V-ALGODON	INGRESO	.25000
L FERTIL		V-ALGODON	REALGOD	1.00000
L REARROZ		V-PAST	INGRESO	.10000
L REMAIZ		V-PAST	REPASTOS	1.00000
L REALGOD		V-SORG	INGRESO	.15000
L REPASTOS		V-SORG	RESORGO	1.00000
L RESORGO		C-TRAC	INGRESO	- 2.00000
L OF-TRAC		C-TRAC	TRACTOR	- 1.00000
L OF-FERT		C-TRAC	OF-TRAC	1.00000
- OF-TR 2		C-TRAC 2	INGRESO	- 2.20000
- A-MAIZ		C-TRAC 2	TRACTOR	- 1.00000
TRACTORES		C-TRAC 2	OF-TR 2	1.00000
ARROZ	TIERRA	C-FERT	INGRESO	- 6.00000
ARROZ	TRACTOR	C-FERT	FERTIL	- 1.00000
ARROZ	MANOBR A	C-FERT	OF-FERT	1.00000
ARROZ	AGUA			4.00000
ARROZ	FERTIL	RHS 1	TIERRA	120.00000
ARROZ	REARROZ	RHS 1	MANOBR A	1800.00000
MAIZ	TIERRA	RHS 1	AGUA	360.00000
MAIZ	TRACTOR	RHS 1	OF-TRAC	500.00000
MAIZ	MANOBR A	RHS 1	OF-FERT	180.00000
MAIZ	AGUA	RHS 1	A-MAIZ	12.00000
MAIZ	FERTIL	RHS 1	OF-TR 2	100.00000
MAIZ	REMAIZ			- 1200.00000
MAIZ	A-MAIZ			1.00000
ALGODON	TIERRA			1.00000
ALGODON	TRACTOR			5.00000
ALGODON	MANOBR A			18.00000
ALGODON	AGUA			2.00000
ALGODON	FERTIL			2.00000
ALGODON	REALGOD			- 1600.00000
PASTOS	TIERRA			1.00000
PASTOS	TRACTOR			6.50000
PASTOS	MANOBR A			12.00000
PASTOS	AGUA			2.50000
PASTOS	FERTIL			1.50000
PASTOS	REPASTOS			- 4500.00000
SO-1	TIERRA			1.00000
SO-1	MANOBR A			7.00000
SO-1	FERTIL			1.50000
SO-1	TRACTOR			3.50000
SO-1	AGUA			2.50000
SO-1	RESORGO			- 1400.00000
SO-2	TIERRA			1.00000
SO-2	MANOBR A			7.00000
SO-2	FERTIL			2.00000
SO-2	TRACTOR			3.50000

ITER NUMBER	NUMBER NONOPT	VECTOR OUT	VECTOR IN	REDUCED COST	FUNCTION VALUE
1	2	12	27	1.00000-	35648.0
4	3	15	29	17.8195-	40882.5

TIME = 0.19 MINS.

PRIMAL OBJ = INGRESU RHS = RHS1

TIME = 0.19 MINS. PRICING 7

SCALE = 1.00000-

OPTIMAL SOLUTION

CUADRO 16

EJEMPLO DE USO DE RECURSOS

SECTION 1 - ROWS

NUMBER	...ROW..	AT	...ACTIVITY...	SLACK ACTIVITY	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	..DUAL ACTIVITY
1	NORJ	RS	576.00000	576.00000-	NONE	NONE	.
2	INGRESO	BS	40882.54545	40882.54545-	NONE	NONE	1.00000
3	TIEPPA	RS	109.09091	10.90909	NONE	120.00000	.
4	TRACTOR	UL	.	.	NONE	.	54.54545-
5	MANOBRAS	BS	1529.45455	270.54545	NONE	1800.00000	.
6	AGUA	PS	296.72727	63.27273	NONE	360.00000	.
7	FERTIL	UL	.	.	NONE	.	63.63636-
8	PEARROZ	UL	.	.	NONE	.	.15000-
9	REMAIZ	UL	.	.	NONE	.	.12000-
10	REALGOD	UL	.	.	NONE	.	.25000-
11	REPASTOS	UL	.	.	NONE	.	.10000-
12	RESURGO	UL	.	.	NONE	.	.15000-
13	DE-TRAC	UL	500.00000	.	NONE	500.00000	52.54545-
14	DE-FERT	UL	180.00000	.	NONE	180.00000	57.63636-
15	DE-TR2	UL	100.00000	.	NONE	100.00000	52.34545-
16	A-MAIZ	LL	12.00000	.	12.00000	NONE	83.27273

SECTION 2 - COLUMNS

NUMBER	.COLUMN.	AT	...ACTIVITY...	..INPUT COST..	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	..REDUCED COST.
17	ARROZ	LL	.	.	.	NONE	43.63636-
18	MAIZ	PS	12.00000	.	.	NONE	.
19	ALGODON	BS	44.72727	.	.	NONE	.
20	PASTOS	BS	52.36364	.	.	NONE	.
21	S0-1	LL	.	.	.	NONE	76.36364-
22	S0-2	LL	.	.	.	NONE	62.18182-
23	V-ARROZ	RS	.	.15000	.	NONE	.
24	V-MAIZ	RS	14400.00000	.12000	.	NONE	.
25	V-ALGODON	BS	71563.63637	.25000	.	NONE	.
26	V-PASTO	BS	235636.36363	.10000	.	NONE	.
27	V-SORG	RS	.	.15000	.	NONE	.
28	C-TRAC	PS	500.00000	2.00000-	.	NONE	.
29	C-TRAC2	PS	100.00000	2.20000-	.	NONE	.
30	C-FERT	BS	180.00000	6.00000-	.	NONE	.

40

- 41 -
Cuadro 17

COMPARACION DE PLAN -1 y PLAN -2
(en condiciones originales de precios)

<u>Columnas</u>				
<u>Producto</u>	<u>Areas</u>		<u>Produccion</u>	
	<u>Plan 1</u>	<u>Plan 2</u>	<u>Plan 1</u>	<u>Plan 2</u>
Arroz	0.0	0 ^{1/}	0	0
Maiz	0.0	12.0	0	14
Algodón	76.36	44.73	122	72
Pastos	18.18	52.36	82	235
Sorgo -1	*	0	*	0
Sorgo -2	*	0	*	0

<u>Filas</u>	<u>Uso</u>		<u>Precio a la Sombra</u>	
	<u>Plan 1</u>	<u>Plan 2</u>	<u>Plan 1</u>	<u>Plan 2</u>
Tierra	94.54	109.09	0.0	0.0
Of-tractor	500.00	500.0	52.54	52.54
Of-tractor-G	*	100.0	*	52.34
Manobra	1592.72	1529.45	0.0	0.0
Agua	216.76	296.73	0.0	0.0
Of-fertilz	180.00	180.00	57.64	57.64
<u>INGRESO</u>	36647		40882	
<u>NOBJ</u>			576	

* No se considera esta posibilidad

1/ Requerimiento mínimo

7. Cambios Paramétricos

Una de las principales ventajas del método de programación lineal es el análisis de sensibilidad respecto a variaciones en los coeficientes del modelo original. El análisis de sensibilidad básico parte de un examen de las secciones filas y columnas en el límite y a nivel intermedio. Sin embargo para apreciar como cambia la solución en su totalidad cuando se cambia un coeficiente técnico, un precio de un producto o de un factor o la disponibilidad de un recurso se debe recurrir a cambios paramétricos de dichos elementos.

Asumiendo otras cosas constantes, los cambios en el precio de un producto permiten estimar las características de la oferta de dicho producto y al mismo tiempo el efecto sustitutivo que ocurre en la finca en cuanto a la producción de otros cultivos; es decir esto permite determinar las elasticidades directas y cruzadas de oferta. Además, considerando que el precio sombra de un factor (o recurso) el cual es dado por el dual del problema, representa el precio real de dicho factor (el valor de su producto marginal), cambios en la disponibilidad del factor permitirán conocer las características de su función de demanda.

MPSX provee la rutina que permite este tipo de análisis para cambiar elementos en las filas en la función objetivo o en las restricciones. Por ejemplo, en el evento de que en el problema usado en las secciones anteriores

se desea determinar las características de la función de oferta de maíz, se puede hacer cambios paramétricos en la función objetivo.

Si se deseara partir de la solución para la cual se usó el programa en el Cuadro 13 (p.36) bastará añadir a dicho programa las siguientes instrucciones (después de SOLUTION)

```
XPARAM = 0.0
XPARELT = 1.0
XPAREMAX = 5.0
MOVE (XCHROW, 'NOBJ')
PARAOBJ
SOLUTION
EXIT
PEND
```

Nótese que en el Cuadro 14 (p.37) ya se ha añadido en la sección ROWS (al final) la nueva fila NOBJ, y en la sección COLUMNS (al final), se especifica el intervalo (DELTA) para cada cambio paramétrico en la actividad:

```
V-MAIZ    NOBJ    0.04
```

Las instrucciones arriba indicadas permiten cinco cambios paramétricos para cada uno de los cuales se imprime una solución total del problema.

El resumen de estas soluciones se muestra en el Cuadro 18, en donde se puede apreciar que la producción de maíz responde positivamente al aumento

Cuadro 18. Características de la Oferta de Mafz (cuando los precios de los demás productos son constantes)

Solución	\$/kg. Precio de Mafz	kilogramos		
		Producción	Producción	Producción
BASE		<u>Mafz</u>	<u>Algodón</u>	<u>Pastos</u>
	.12	14400	71563	235636
1	.16	14400	71563	235636
2	.20	43200	57600	216000
3	.24	43200	57600	216000
4	.28	61714	0	308571
5	.32	61714	0	308571

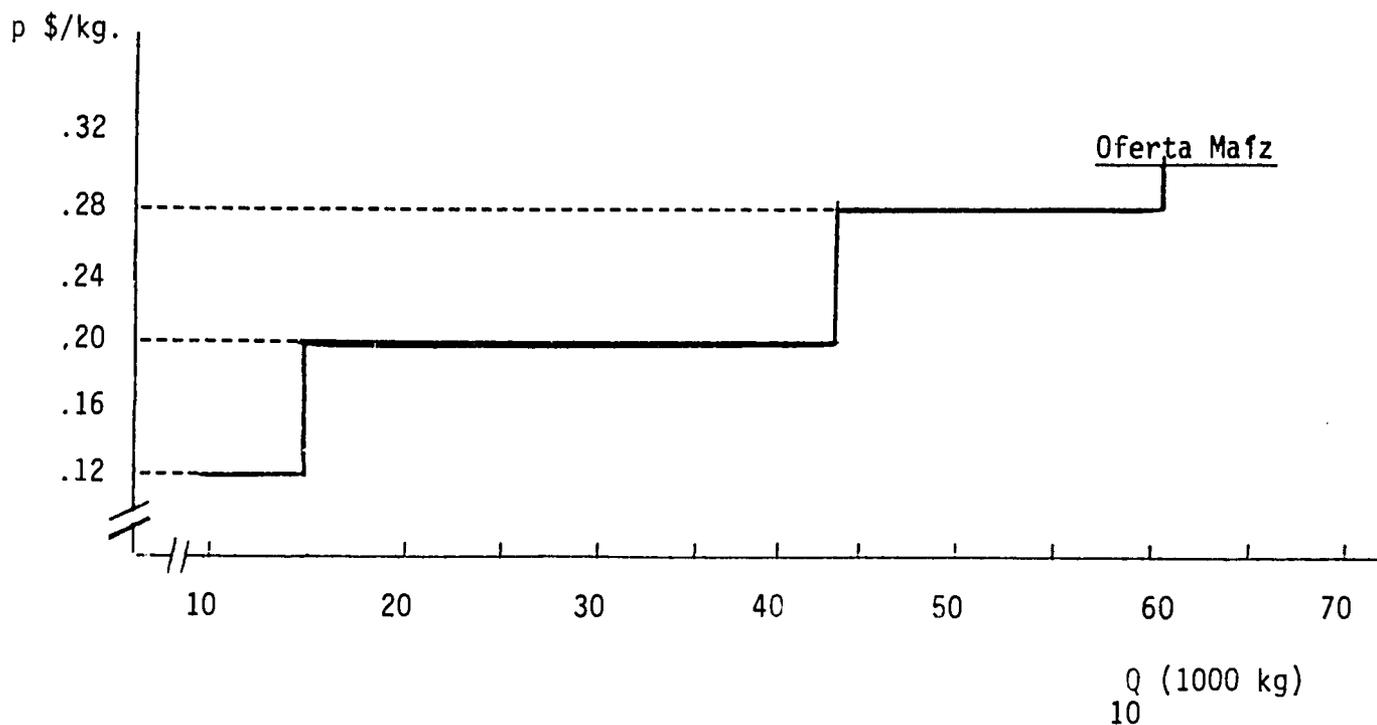


Figura 3. Función de Oferta de Mafz

del precio del producto y que este aumento ocurre a expensas de la producción de algodón y de pastos hasta la solución 3. A partir de esta solución el aumento en la producción de maíz implica una eliminación total del algodón aunque la liberación de recursos que usaba este producto permite expandir la producción de pastos. Es preciso hacer hincapié en el hecho que los resultados son producto de la naturaleza de los coeficientes técnicos y la disponibilidad de recursos y los que aquí se han usado son extremadamente simples. Debe observarse también que la solución no es sensible a pequeños cambios en el precio del maíz ya que solo se producen cambios en el patrón de cultivos cada vez que el precio cambia en 8 centavos/kilo. En el capítulo 6 del libro sobre Métodos Cuantitativos preparado por el autor [Pomareda, 1980] se discute en mayor detalle la naturaleza de las funciones de oferta y de demanda de factores.

Este manual es sólo una introducción al uso de MPSX; pero se espera que tenga el propósito de motivar al estudiante a alcanzar un conocimiento mayor de la versatilidad de este programa.

8. REFERENCIAS

- IBM. Mathematical Programming System - Extended (MPSX) and Generalized Upper Bounding (GUB) Program Description (Program Product) Program Number 5734 - XM4. Second Edition, 1972. IBM Corporation, New York.
- IBM. Mathematical Programming System-Extended (MPSX) Control Language User's Manual (Program Product). Program Number 5734-XM4 First Edition, 1971. IBM Corporation, New York.
 - IBM. Mathematical Programming System - Extended (MPSX) MIP, and GUB, Message Manual (Program Product) Program Number 5734-XM4, Second Edition, 1972, IBM Corporation, New York.
 - Pomareda, Carlos, "Métodos Cuantitativos para la Investigación en Economía Agrícola", Volúmen II, San José, Costa Rica, Junio, 1980.
 - Pomareda, Carlos, "Desarrollo Agrícola en Centro América: Evaluación, Perspectivas y Análisis de Política", ECID/SIECA, Guatemala: Junio, 1980.