Casos especiales de la P. L.

Programación Lineal Entera

- Un modelo de programación lineal que no acepta soluciones fraccionales.
- En este caso, la formulación es similar a la de un problema general de programación lineal, pero con la restricción de que:
- $x_i \in \{I \geq 0\}$

- Pueden ser de diferentes tipos:
  - Soluciones enteras
  - Soluciones binarias (0, 1)
  - Soluciones mixtas

Solución

- **Relajación:** suponer que el modelo no tiene restricciones de integralidad en la solución en la solución
  - En este caso la solución general contendrá todas las posibles soluciones enteras
  - Es la mejor solución que se pueda obtener y cualquier solución entera no podrá ser mejor que ésta
  - La solución puede ser una aproximación por redondeo
  - Puede que no sea factible y seguramente no será óptima.

Rama y Acotamiento

- Introducido originalmente por Land y Doig en 1960
- Consiste en un proceso de búsqueda secuencial
- Enumera implícitamente la mayoría de las posibles soluciones del problema que se está resolviendo
- Divide el conjunto de posible soluciones en subconjuntos
- Para cada subconjunto, tanto los límites de la función objetivo como el criterio de factibilidad se utilizan como criterios para limitar la solución

Algoritmo general

1. Encontrar un límite máximo de la función objetivo, dado por la solución óptima relajada.
2. Definir dos subconjuntos tales que

$$d + 1 \leq x_k \leq d$$

   donde d es una constante definida por el entero menor de la solución para x_k

3. Para cada solución defina una nueva solución óptima.

   Un subconjunto podrá ser eliminado del proceso si:

   - Su solución no es factible
   - Existe una mejor solución

4. El proceso se detiene cuando se encuentra una solución óptima donde las variables de decisión sean enteras.

Ejemplo

- Se tiene el siguiente problema

Max.: $x = 4x_1 + 11x_2$

Sujeto a:

$$2x_1 - x_2 \leq 4$$
$$2x_1 + 5x_2 \leq 16$$
$$-x_1 + 2x_2 \leq 4$$

x_1 y $x_2 \geq 0$ y enteras

02-21-2006 13:46:54	Decision Variable	Lower Bound	Upper Bound	Solution Value	Variable Type	Status
1	X1	0	M	1.3333	Integer	No
2	X2	0	M	2.6667	Integer	No
	Current	OBJ(Maximize)	= 34.6667	>= ZL =	-M	Non-integer

$X_1 \geq 2$

02-21-2006 13:47:48	Decision Variable	Lower Bound	Upper Bound	Solution Value	Variable Type	Status
1	X1	2.0000	M	2.0000	Integer	Yes
2	X2	0	M	2.4000	Integer	No
	Current	OBJ(Maximize)	= 34.4000	>= ZL =	-M	Non-integer

$x_1 \leq 1$

02-21-2006 13:50:50	Decision Variable	Lower Bound	Upper Bound	Solution Value	Variable Type	Status
1	X1	0	1.0000	1.0000	Integer	Yes
2	X2	0	M	2.5000	Integer	No
	Current	OBJ(Maximize)	= 31.5000	<= ZL =	34.0000	Not better!!

$X_2 \leq 2$

02-21-2006 13:48:58	Decision Variable	Lower Bound	Upper Bound	Solution Value	Variable Type	Status
1	X1	2.0000	M		Integer	
2	X2	3.0000	M		Integer	
	This	node	is	infeasible	!!!!!!	

$X_2 \geq 3$

02-21-2006 13:49:54	Decision Variable	Lower Bound	Upper Bound	Solution Value	Variable Type	Status
1	X1	2.0000	M	3.0000	Integer	Yes
2	X2	0	2.0000	2.0000	Integer	Yes
	Current	OBJ(Maximize)	= 34.0000	>= ZL =	-M	New incumbent

	13:54:22		Tuesday	February	21	2006
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status
1	X1	3.0000	4.0000	12.0000	0	basic
2	X2	2.0000	11.0000	22.0000	0	basic
	Objective	Function	(Max.) =	34.0000		
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price
1	C1	4.0000	<=	4.0000	0	2.0000
2	C2	16.0000	<=	16.0000	0	0
3	C3	1.0000	<=	4.0000	3.0000	0

Análisis de Datos por Envolvente (DEA)

- Tiene como objetivo comparar eficiencias productivas en Unidades de Decisión (DMU)
- La comparación se hace en función al uso de insumos de manera óptima creando una unidad eficiente ideal

Eficiencia de Paretto - Koopman

- Una unidad de decisión (DMU) no es eficiente al producir sus bienes o servicios (a partir de una cantidad de insumos) si se puede demostrar que una redistribución de sus recursos resultaría en una igual producción con una utilización menor de sus insumos y sin el uso de ningún recurso adicional. Por el contrario, la firma será eficiente si esto no es posible

La función de producción eficiente

De acuerdo a Farrell, la función de producción:

- $Y_o = Y(y_1, y_2, \ldots, y_m) = f(x_1, x_2. \ldots, x_k)$

Es eficiente, si cualquier otro vector Y_i produce los mismos elementos de tal manera que

- $Y_i \leq Y_o \ \forall\ y, x$

Y_i es factible si esto es posible

Características de la función eficiente

- **Convexidad**: Está compuesta de segmentos de línea que unen ciertos pares de puntos escogidos de un conjunto de puntos (0, ∞); (∞, 0)… que satisfaga dos condiciones:
  - Que su pendiente no sea positiva
  - Que ningún punto observado se encuentre entre la función y su origen
- **Retornos constantes a escala**: Un aumento (disminución) en insumos, genera un aumento (disminución) en la producción

Estas condiciones garantizan que si dos puntos son posibles en la práctica, entonces lo será cualquier punto obtenido del promedio ponderado de los anteriores.

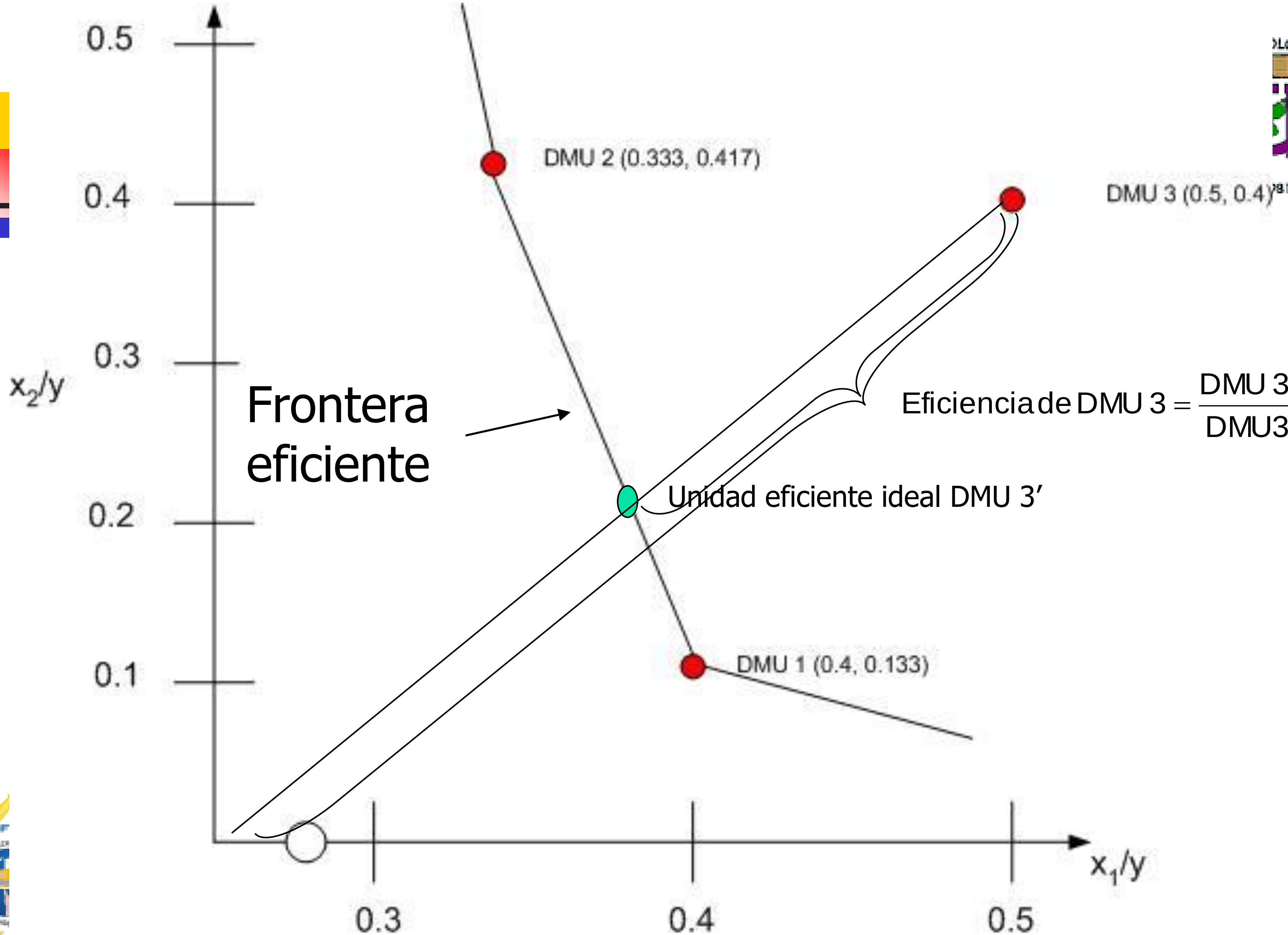
Ejemplo

- Tres unidades de decisión (DMUs) utilizan dos insumos x_1 y x_2 para producir un producto y tal que:

DMU	y	x_1	X_2
1	15	6	2
2	12	4	5
3	20	10	8

Niveles normalizados de Insumo

DMU	x_1/y	x_2/y
1	6/15 = 0.400	2/15 = 0.133
2	4/12 = 0.333	5/12 = 0.417
3	10/20 = 0.500	8/20 = 0.400


0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
x_2/y
DMU 2 (0.333, 0.417)
DMU 3 (0.5, 0.4)
Frontera eficiente
$\text{Eficiencia de DMU 3} = \frac{\text{DMU 3'}}{\text{DMU3}}$
Unidad eficiente ideal DMU 3'
DMU 1 (0.4, 0.133)
0.3
0.4
0.5
x_1/y

Formulación del DEA

- Desarrollada por Charnes, Cooper y Rhodes
- Enfoque no paramétrico basado en programación fraccionada
- No requiere una función predefinida

$$\max h_o = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r,0}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i,0}}$$

$$s.a.:$$

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r,j}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i,j}} \leq 1 \; \forall \; j = 1, 2, ..., n; r = 1, 2, ..., s; i = 1, 2, ..., m$$

$$y_{r,j}, x_{i,j}, u_r, v_i \geq 0$$

En la formulación anterior

$y_{r,j}$	:	es la cantidad producida del r-ésimo producto por la j-ésima DMU
$x_{i,j}$	:	es la cantidad de i-ésimo insumo consumido por la j-ésima DMU
$u_{r,j}$	:	es el peso del r-ésimo producto en la función de producción de la j-ésima DMU
$v_{i,j}$	:	es el peso del i-ésimo insumo en la función de producción de la j-esima unidad
$j=0$	:	Unidad de referencia

En la formulación

- Los valores de $x_{i,j}$ y $y_{r,j}$ son observaciones del pasado
- Los valores de $u_{r,j}$ y $v_{i,j}$ son las variables de decisión.
- La formulación anterior es difícil de resolver

Formulación como P. L.

$$\max h_0 = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r,0}$$

s.a. :

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i,0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r,j} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{i,j} \leq 0 \ \forall\, j = 1, 2, \ldots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0 \ \forall\, r, j$$

Formulación dual

$$\min w_0 = q_0$$

s.a.:

$$\sum_{j=1}^{n} p_{0,j} y_{r,j} \geq y_{r,0}$$

$$q_0 x_{i,0} - \sum_{j=1}^{n} p_{0,j} x_{r,j} \geq 0$$

$$p_{0,j} \geq 0; q_0 \text{ no restringida en signo}$$

Orientación hacia los insumos

- Una DMU no es eficiente si es posible mantener el nivel de producción a un nivel constante, o aumentarlos, a la vez que se disminuye cualquier insumo, sin aumentar los otros.
- En el dual, el valor de $p_{0,j}$ será positivo si su correspondiente restricción en el primal define la DMU correspondiente como eficiente.
- El conjunto de DMUs que contengan positivo el $p_{0,j}$ será el conjunto de referencia para la DMU_0

Determinación de la nueva unidad eficiente

$$x_{E,i} = \sum_{j=1}^{n} p_{0,j} x_{i,j}; \quad \text{para } i = 1, 2, \ldots, m$$

$$y_{E,r} = \sum_{j=1}^{n} p_{0,j} y_{r,j}; \quad \text{para } r = 1, 2, \ldots, s$$

Ejemplo

- Tres unidades de decisión (DMUs) utilizan dos insumos x_1 y x_2 para producir un producto y tal que:

DMU	y	x_1	X_2
1	15	6	2
2	12	4	5
3	20	10	8

Formulación y solución en WinQSB

DMU1

Variable -->	u1	v1	v2	Direction	R. H. S.
Maximize	15				
Referencia 1		6	2	=	1
DMU1	15	-6	-2	<=	0
DMU2	12	-4	-5	<=	0
DMU3	20	-10	-8	<=	0
LowerBound	0	0	0		
UpperBound	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous		

	18:46:41		Friday	March	03	2006		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	u1	0.0667	15.0000	1.0000	0	basic	0	M
2	v1	0.1545	0	0	0	basic	0	13.7500
3	v2	0.0364	0	0	0	basic	-4.5833	0
	Objective	Function	(Max.) =	1.0000	(Note:	Alternate	Solution	Exists!!)
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	Referencia 1	1.0000	=	1.0000	0	1.0000	0	M
2	DMU1	0.0000	<=	0	0	1.0000	-0.1667	1.5962
3	DMU2	0.0000	<=	0	0	0	-1.7000	0.1333
4	DMU3	-0.5030	<=	0	0.5030	0	-0.5030	M

Eficiencia Relativa

$p_{o,j}$

DMU2

Variable -->	u1	v1	v2	Direction	R. H. S.
Maximize	12				
Referencia 1		4	5	=	1
DMU1	15	-6	-2	<=	0
DMU2	12	-4	-5	<=	0
DMU3	20	-10	-8	<=	0
LowerBound	0	0	0		
UpperBound	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous		

	19:01:45		Friday	March	03	2006		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	u1	0.0833	12.0000	1.0000	0	basic	0	M
2	v1	0.1932	0	0	0	basic	-3.5200	0
3	v2	0.0455	0	0	0	basic	0	4.4000
	Objective	Function	(Max.) =	1.0000	(Note:	Alternate	Solution	Exists!!)
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	Referencia 1	1.0000	=	1.0000	0	1.0000	0	M
2	DMU1	0.0000	<=	0	0	0	-0.2500	0.7685
3	DMU2	0.0000	<=	0	0	1.0000	-0.6800	0.2000
4	DMU3	-0.6288	<=	0	0.6288	0	-0.6288	M

Eficiencia Relativa

$p_{o,j}$

DMU3

Variable -->	u1	v1	v2	Direction	R. H. S.
Maximize	20				
Referencia 1		10	8	=	1
DMU1	15	-6	-2	<=	0
DMU2	12	-4	-5	<=	0
DMU3	20	-10	-8	<=	0
LowerBound	0	0	0		
UpperBound	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous		

	19:06:09		Friday	March	03	2006		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	u1	0.0363	20.0000	0.7261	0	basic	0	M
2	v1	0.0842	0	0	0	basic	-4.6667	3.7500
3	v2	0.0198	0	0	0	basic	-3.0000	3.7333
	Objective	Function	(Max.) =	0.7261				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	Referencia 1	1.0000	=	1.0000	0	0.7261	0	M
2	DMU1	0.0000	<=	0	0	0.5941	-0.1000	0.4611
3	DMU2	0.0000	<=	0	0	0.9241	-0.4250	0.0800
4	DMU3	-0.2739	<=	0	0.2739	0	-0.2739	M

Eficiencia Relativa

$p_{o,j}$

Unidad eficiente

$X_{E,1} = 0.5941*6 + 0.9241*4 = 7.2610$

$X_{E,2} = 0.5941*2 + 0.9241*5 = 5.8087$

$y_{E,1} = 0.5941*15 + 0.9241*12=20.0007$

DMU eficiente

Variable -->	u1	v1	v2	Direction	R. H. S.
Maximize	20				
Referencia 1		7.261	5.8087	=	1
DMU1	15	-6	-2	<=	0
DMU2	12	-4	-5	<=	0
DMU3	20	-7.261	-5.8087	<=	0
LowerBound	0	0	0		
UpperBound	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous		

	19:13:38		Friday	March	03	2006		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	u1	0.0500	20.0000	1.0000	0	basic	0	M
2	v1	0.1159	0	0	0	basic	-4.6666	3.7502
3	v2	0.0273	0	0	0	basic	-3.0001	3.7332
	Objective	Function	(Max.) =	1.0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	Referencia 1	1.0000	=	1.0000	0	1.0000	0	M
2	DMU1	0.0000	<=	0	0	0.5941	-0.1377	0.0001
3	DMU2	0.0000	<=	0	0	0.9241	-0.5853	0.0000
4	DMU3	0.0000	<=	0	0.0000	0	0.0000	M

Orientación hacia los productos

- Desarrollada por Bessent y Bessent (1988)
- Bajo este enfoque, una DMU no es eficiente si es posible aumentar el nivel de producción de algún producto sin aumentar ningún insumo y sin disminuir ningún otro producto
- Este enfoque considera las dificultades en asignar recursos
- Presenta una formulación similar al dual

Formulación general

$$\max z_0$$

$$y_{r,0} z_0 - \sum_{j=1}^{n} y_{r,j}\delta_j + S_r^+ = 0; \text{ para } r = 1, 2, \ldots, s$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{i,j}\delta_j + S_r^- = x_{i,0}; \text{ para } i = 1, 2, \ldots, m$$

$$x_{i,j}, y_{r,j}, \delta_j, S_r^+, S_r^- \geq 0$$

Donde:

z_0	:	Ineficiencia de la unidad. En este caso $h_0=1/z_0$
δ_j	:	Es el peso para la DMU j. Es la variable de decisión del problema.
S_r^+, S_r^-	:	Variables de holgura de las restricciones

Determinando la unidad eficiente

$$y_{E,r} = z_0 y_{0,r} + S_r^+$$

$$x_{E,r} = x_{0,i} - S_r^-$$

DMU 1

Variable -->	z	d1	d2	d3	Direction	R. H. S.
Maximize	1					
y1	15	-15	-12	-20	<=	0
x1		6	4	10	<=	6
x2		2	5	8	<=	2
LowerBound	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous		

	21:13:30		Friday	March	03	2006		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	z	1.0000	1.0000	1.0000	0	basic	0	M
2	d1	1.0000	0	0	0	basic	-0.6148	0.2000
3	d2	0	0	0	0	basic	-0.1333	1.7000
4	d3	0	0	0	-0.5030	at bound	-M	0.5030
	Objective	Function	(Max.) =	1.0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	y1	0	<=	0	0	0.0667	-15.0000	M
2	x1	6.0000	<=	6.0000	0	0.1545	1.6000	6.0000
3	x2	2.0000	<=	2.0000	0	0.0364	2.0000	7.5000

Variable -->	z	d1	d2	d3	Direction	R. H. S.
Maximize	1					
y1	12	-15	-12	-20	<=	0
x1		6	4	10	<=	4
x2		2	5	8	<=	5
LowerBound	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous		

	21:15:58		Friday	March	03	2006		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	z	1.0000	1.0000	1.0000	0	basic	0	M
2	d1	0	0	0	-0.2500	at bound	-M	0.2500
3	d2	1.0000	0	0	0	basic	-0.1667	M
4	d3	0	0	0	-0.8333	at bound	-M	0.8333
	Objective	Function	(Max.) =	1.0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	y1	0	<=	0	0	0.0833	-12.0000	M
2	x1	4.0000	<=	4.0000	0	0.2500	0	4.0000
3	x2	5.0000	<=	5.0000	0	0	5.0000	M

Variable -->	z	d1	d2	d3	Direction	R. H. S.
Maximize	1					
y1	20	-15	-12	-20	<=	0
x1		6	4	10	<=	10
x2		2	5	8	<=	8
LowerBound	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous		

	21:21:01		Friday	March	03	2006		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	z	1.3773	1.0000	1.3773	0	basic	0	M
2	d1	0.8182	0	0	0	basic	-0.4611	0.1500
3	d2	1.2727	0	0	0	basic	-0.1000	1.2750
4	d3	0	0	0	-0.3773	at bound	-M	0.3773
	Objective	Function	(Max.) =	1.3773				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	y1	0	<=	0	0	0.0500	-27.5455	M
2	x1	10.0000	<=	10.0000	0	0.1159	6.4000	24.0000
3	x2	8.0000	<=	8.0000	0	0.0273	3.3333	12.5000

Unidad eficiente

Eficiencia de DMU 3 = 1/1.3773 = 0.7261

$y_{E,1}$= 1.3773*20 + 0 = 27.546

$x_{E,1}$=10 – 0 = 10

$x_{E,2}$ = 8 – 0 = 8

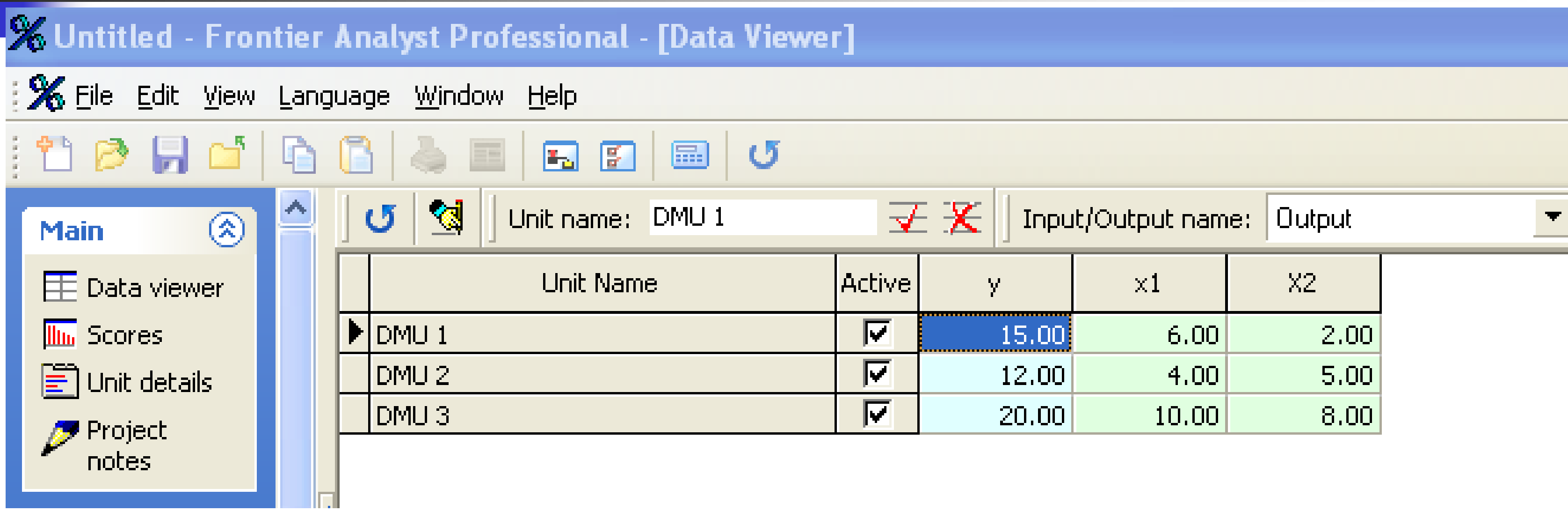
DMU 3 Eficiente

Variable -->	z	d1	d2	d3	Direction	R. H. S.
Maximize	1					
y1	27.546	-15	-12	-27.546	<=	0
x1		6	4	10	<=	10
x2		2	5	8	<=	8
LowerBound	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous		

roductos

	21:28:49		Friday	March	03	2006		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	z	1.0000	1.0000	1.0000	0	basic	0	M
2	d1	0	0	0	0.0000	at bound	-M	0.0000
3	d2	0	0	0	0	basic	-0.0356	0.0000
4	d3	1.0000	0	0	0	basic	0.0000	0.0891
	Objective	Function	(Max.) =	1.0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	y1	0	<=	0	0	0.0363	-27.5460	M
2	x1	10.0000	<=	10.0000	0	0.0842	6.4000	10.0000
3	x2	8.0000	<=	8.0000	0	0.0198	8.0000	12.5000

El Efficient Analyst


Untitled - Frontier Analyst Professional - [Data Viewer]
File Edit View Language Window Help
Main
Data viewer
Scores
Unit details
Project notes
Unit name: DMU 1
Input/Output name: Output
Unit Name
Active
y
x1
X2
DMU 1 15.00 6.00 2.00
DMU 2 12.00 4.00 5.00
DMU 3 20.00 10.00 8.00

Details | Edit data | Show all | 100% | <100 % | Unsort | Sort A-Z

3 units.

Name	Score
DMU 1	100.00
DMU 2	100.00
DMU 3	72.61

Unit: DMU 3

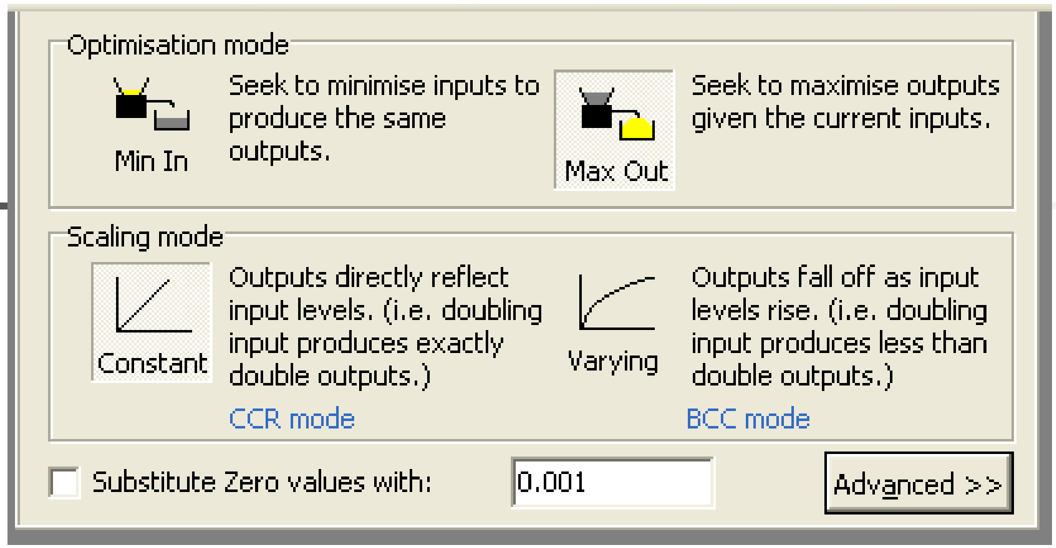
Efficiency: 72.6%

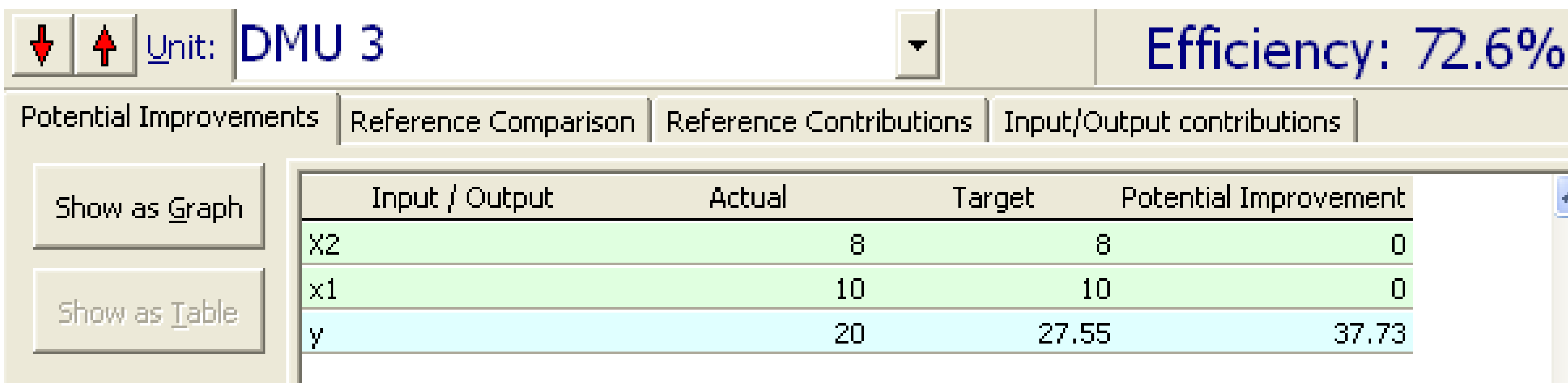
Potential Improvements | Reference Comparison | Reference Contributions | Input/Output contributions

Show as Graph

Show as Table

Input / Output	Actual	Target	Potential Improvement
X2	8	5.81	-27.39
x1	10	7.26	-27.39
y	20	20	0


Optimisation mode
Min In
Seek to minimise inputs to produce the same outputs.
Max Out
Seek to maximise outputs given the current inputs.
Scaling mode
Constant
Outputs directly reflect input levels. (i.e. doubling input produces exactly double outputs.)
CCR mode
Varying
Outputs fall off as input levels rise. (i.e. doubling input produces less than double outputs.)
BCC mode
Substitute Zero values with:
0.001
Advanced >>


Unit: DMU 3
Efficiency: 72.6%
Potential Improvements
Reference Comparison
Reference Contributions
Input/Output contributions
Show as Graph
Show as Table
Input / Output
Actual
Target
Potential Improvement
X2 8 8 0
x1 10 10 0
y 20 27.55 37.73

Ejemplo: La ampliación del canal

Combinaciones de Alternativas de Suministro y Ahorro de Agua Incluidas en el Analisis Final											
Criterio de Selección	Impacto Social y Ambiental (40%)						Suministro de Agua (40%)				Monto de Inversión (20%)
	Personas afectadas (número de personas)	Calidad de Agua (salinidad máxima, ppt)	Superficie de Areas Afectadas (hectareas)	Pérdida o Afectación de Infraestructuras (Balboas)	Pérdida de Producción (Balboas)	Pérdida de Areas Boscosas (hectáreas)	Rendimiento Hídrico (Esclusajes equivalentes adicionales)	Confiabilidad de Calado (14m/46' ADT)			VPN de la Inversión (millones de balboas)
								AF 2015	AF 2020	AF 2025	
Alternativa 1 - Subir Gatún AF 2015 - Profundizar AF 2015 - Río Indio AF 2015	1,750 personas	0.05 ppt	4,600 hectareas	B/. 27 millones	B/. 200,000	984 hectáreas	27 esclusajes	99%	99%	97%	B/. 309 M
Alternativa 2 - Subir Gatún AF 2015 - Profundizar AF 2015 - 2 Tinas AF 2015	N / S	0.29 ppt	400 hectáreas	B/. 25 millones	Ninguna pérdida	N / S	26 esclusajes	99%	98%	97%	B/. 305 M
Alternativa 3 - Profundizar AF 2015 - Subir Gatún AF 2015 - 3 Tinas AF 2015	N / S	0.34 ppt	400 hectáreas	B/. 25 millones	Ninguna pérdida	N / S	29 esclusajes	99%	98%	98%	B/. 407 M

N / S = No tiene impacto significativo

Tomado del Plan Maestro del Canal, 2006 Capítulo 7