

CAPÍTULO 5. Pruebas del sistema.

1. Introducción.

A continuación se expone cuál ha sido el software desarrollado en este trabajo, detallando cómo se resuelve cada una de las fases del modelo descrito anteriormente, y de qué otros softwares hace uso. Posteriormente, y como validación del modelo, se realizarán unas pruebas del sistema donde se contemplan distintas situaciones, corroborando los resultados obtenidos.

2. El Software.

Para realizar las pruebas del sistema se crea una aplicación software de forma que todos los cálculos se realicen de manera transparente al usuario y en el que éste sólo tendrá que interactuar con el programa para seleccionar una serie de opciones.

El software consiste en una interfaz gráfica que facilita el trabajo del usuario con el programa y para la que se ha elegido el lenguaje de programación orientado a objetos C++ debido a su gran flexibilidad, potencia y facilidad de uso.

El programa toma como datos de partida, las soluciones del programa EMS, que resuelve el modelo tradicional. Se ha seleccionada

dicho software porque es un muy accesible ya que es de libre licencia y además, es de fácil manejo. Posteriormente la aplicación hace uso del programa XA, que es una potente aplicación para la resolución de problemas de optimización.

A continuación se explica el funcionamiento del software EMS.

2.1. El software EMS.

El software EMS, como ya se ha mencionado, es una aplicación potente y de fácil uso, pero para su correcto funcionamiento precisa de una serie de requisitos. A continuación se expone el modo de funcionamiento.

Al abrir el programa aparece una ventana, que mostraremos a continuación, donde seleccionamos el archivo de entrada de datos. Dicho archivo tiene que ser un documento Excel y además el nombre de la hoja en la que se encuentran los datos tiene que ser “data”. Un ejemplo de hoja de datos sería la siguiente y la forma de indicar los datos en el archivo, la mostrada a continuación:

DMU	x {IN}	y1 {O}	y2{O}	y3{ON}
1	1	1	8	3
2	1	2	7	4
3	1	3	5	8
4	1	4	2	9
5	1	1,5	6	5
6	1	2	4	1
7	1	2,5	2	0

Tabla 5.2.1. Formato EMS entrada de datos.

- Cada fila es interpretada como una Unidad Productiva, a excepción de la fila de títulos.
- Por columnas se van indicando cada uno de los valores de las entradas y las salidas.
- Para que los datos de una columna sean interpretados como valores de entrada, el título de dicha columna debe tener la expresión “{I}”, para el caso de entradas discretas, o “{IN}” para el caso de entradas no discretas.
- De igual manera, para que los datos de una columna sean interpretados como valores de salida, el título de la columna debe tener la expresión “{O}”, para el caso de salidas discretas, o “{ON}” para el caso de salidas no discretas.

La ventana del programa EMS que se mostraría para abrir los datos sería la siguiente:

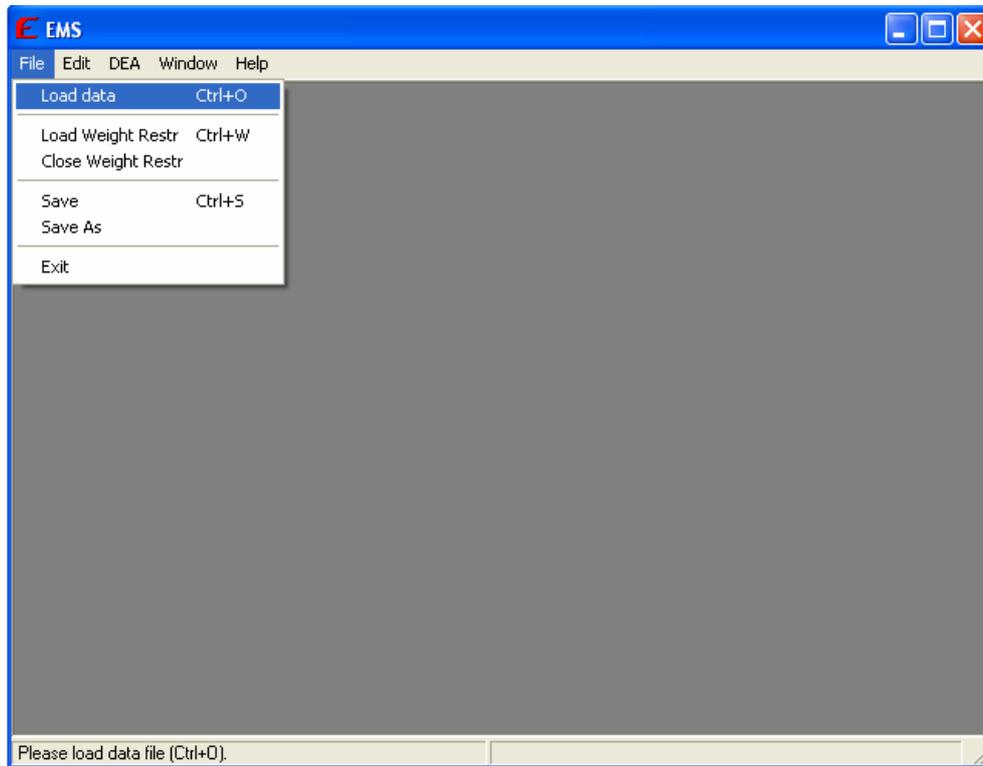


Figura 5.2.1. EL software EMS-Cargar datos.

Una vez cargados los datos, si además queremos añadir restricciones de pesos, seguimos un procedimiento similar indicándole al programa el documento Excel en el que introducimos dichas restricciones. El nombre de la hoja donde se encuentran debe denominarse “Weight” para que el programa pueda reconocerla.

Como ejemplo mostramos la siguiente tabla, que podría utilizarse como tabla de restricciones.

	X {IN}	y1 {O}	y2 {O}	y3 {ON}
r1		1	-2	
r2			1	-2

Tabla 5.2.2. Formato EMS entrada de restricciones de pesos.

El significado de la tabla es el siguiente:

$v_1 \geq 2 v_2$ la primera salida tiene el doble de importancia que la segunda salida.

$v_2 \geq 2 v_3$ la segunda salida tiene el doble de importancia que la tercera salida.

Para cargar las restricciones de los pesos, el EMS mostraría la siguiente interfaz:

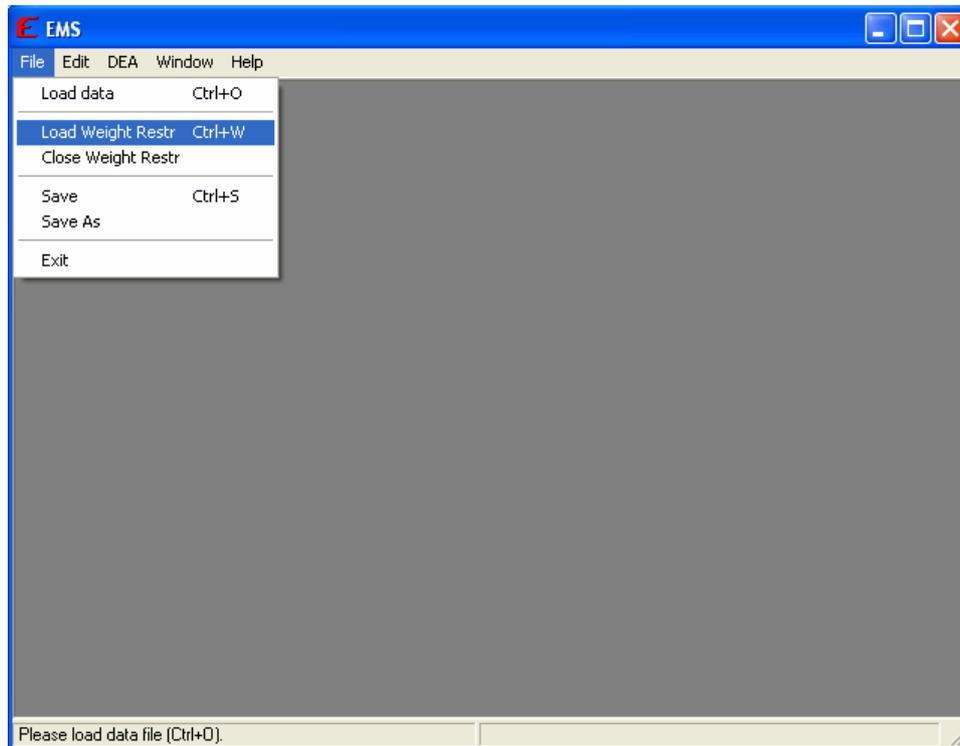


Figura 5.2.2. El software EMS-Cargar pesos.

El siguiente paso será ejecutar el programa.

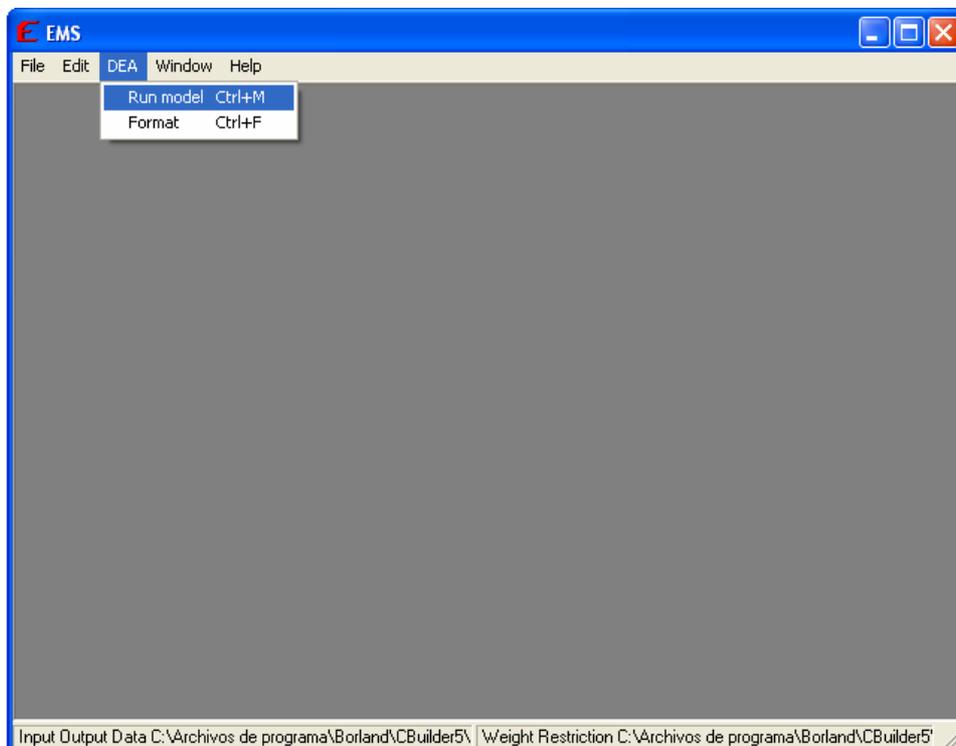


Figura 5.2.3. El software EMS-Ejecutar modelo.

Antes de ejecutarse el programa, la aplicación muestra una pantalla donde el usuario selecciona el modelo DEA que desee resolver.

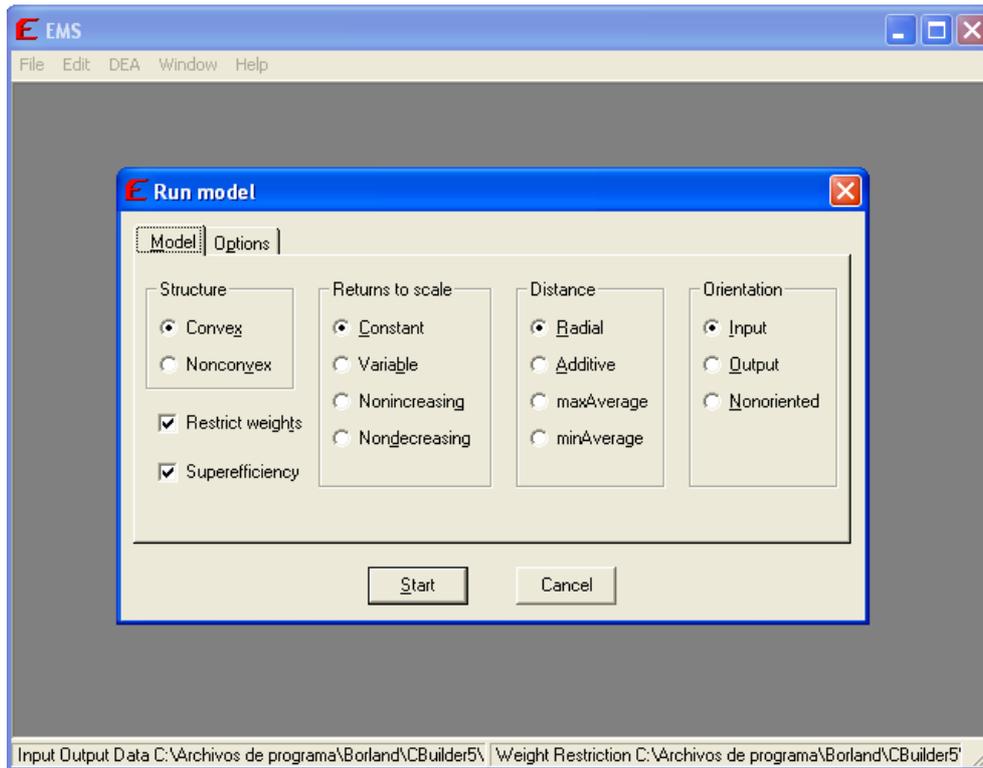


Figura 5.2.4. El software EMS-Selección del modelo DEA.

Una vez seleccionadas las opciones adecuadas, al pulsar “Start” se resuelve el modelo, y se muestran los datos por pantalla. A continuación se analizarán cada una de las columnas del fichero de resultados.

DMU	Score	GNI {N}{V}	Pop {N}{V}	gold {O}{V}	silver {O}{V}	bronze {O}{V}	Benchmarks	{S} GNI {N}	{S} Pop {N}	{S} gold {O}	{S} silver {O}	{S} bronze {O}	
1 Argentina	421.70%	0.30	1.75	0.00	0.00	1.00	2 (0.10315180) 17 (0.69861451)	58	0.00	0.00	4.96	11.89	0.00
2 Australia	53.39%	0.00	0.18	0.19	0.81	0.00		31					
3 Austria	197.98%	0.00	1.38	0.00	1.00	0.00	2 (0.32659798) 45 (0.67340202)		68.40	0.00	1.59	0.00	3.25
4 Azerbaijan	94.34%	0.85	0.00	0.20	0.00	0.80		0					
5 Bahamas big	14.49	423.52	0.20	0.00	0.80			11					
6 Belarus	70.49%	0.67	0.02	0.00	0.57	0.43		5					
7 Belgium	523.19%	0.00	3.03	0.00	0.00	1.00	2 (0.19906880) 9 (0.76581297)	17	167.70	0.00	0.00	4.20	0.00
8 Brazil	679.92%	0.08	0.16	1.00	0.00	0.00	13 (0.02805941) 58 (0.96487050)		0.00	0.00	0.00	6.41	16.87
9 Bulgaria	72.55%	0.44	0.29	0.00	0.00	1.00		5					
10 Cameroon	369.83%	2.68	0.00	1.00	0.00	0.00	17 (0.24261745) 28 (0.75738255)		0.00	9.46	0.00	3.21	2.67
11 Canada	284.09%	0.00	0.47	0.00	1.00	0.00	2 (0.90496621) 58 (0.09503379)		331.52	0.00	9.43	0.00	9.57
12 Chile	504.84%	0.63	0.70	1.00	0.00	0.00	2 (0.07133103) 17 (0.89943782)	58	0.00	0.00	0.00	8.23	7.10
13 China	86.84%	0.03	0.00	1.00	0.00	0.00		1					
14 Chinese	675.06%	3.09	1.03	0.00	1.00	0.00	2 (0.65364334) 17 (0.31543503)	58	0.00	0.00	1.28	0.00	8.35
15 Colombia	491.18%	6.31	0.00	0.00	0.00	1.00	17 (0.85511868) 58 (0.14488132)		0.00	13.96	11.61	9.90	0.00
16 Croatia	188.85%	0.03	1.64	0.00	0.54	0.46	2 (0.02515553) 17 (0.23266186)	24	0.00	0.00	0.63	0.00	0.00
17 Cuba	50.03%	0.24	0.14	0.70	0.08	0.22		39					
18 Czech	234.35%	0.04	2.17	0.00	0.47	0.53	2 (0.10730067) 17 (0.67837590)	24	0.00	0.00	5.59	0.00	0.00
19 Denmark	104.88%	0.00	0.91	0.08	0.00	0.92	5 (0.35453227) 9 (0.58087095)	17	168.54	0.00	0.00	1.03	0.00
20 Dominican	573.18%	4.72	0.00	1.00	0.00	0.00	17 (0.53310959) 28 (0.46689033)		0.00	0.32	0.00	4.67	5.86
21 DPR	120.20%	0.96	0.00	0.00	1.00	0.00	6 (0.40406027) 45 (0.59593540)		0.00	17.24	0.81	0.00	1.63
22 Egypt	531.98%	2.45	0.00	0.00	0.00	1.00	17 (0.81631362) 58 (0.18388633)		0.00	31.99	6.99	5.35	0.00

Figura 5.2.5. El software EMS-Resultados.

- **Score** \Rightarrow en dicha columna se representan los valores de la función objetivo, que en definitiva es una medida de la eficiencia de la unidad productiva en los modelos radiales.

Para explicar el significado de las variables de la siguiente columna se precisa conocer el modelo tradicional primal, que se expuso en capítulos anteriores. El modelo es el siguiente:

$$MAX \quad \sum_{k=1}^s v_{kj} y_{kj} - \xi_j$$

s.a :

$$\sum_{k=1}^s v_{kj} y_{kj} - \sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij} + \xi_j \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij} = 1$$

$$v_{kj} \geq \varepsilon \quad k = 1, 2, \dots, s$$

$$u_{ij} \geq \varepsilon \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\xi_j \text{ libre}$$

- **{V}** \Rightarrow las siguientes columnas, en las que aparece dicha expresión, indican los valores de los pesos calculados al resolver el modelo tradicional BCC-O en su forma multiplicativa (modelo primal), tanto de las entradas (si en el título de la columna aparece {I} o {IN}) como de las salidas (si aparece la {O} o {ON}).

Las siguientes columnas corresponden a los valores de las variables del modelo tradicional en su forma envolvente. En primer lugar se muestra dicho modelo:

$$\begin{aligned} \text{MAX: } & \gamma + \varepsilon \left[\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right] \\ \text{s.a.} & \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \geq x_{i0} - h_i^- \quad \forall i \\ & \sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j \leq \gamma * y_{k0} + h_k^+ \quad \forall k \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad \forall r \quad ^1 \\ & \lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0 \quad \gamma \text{ libre} \end{aligned}$$

- **Benchmarks** \Rightarrow representa los valores de las variables λ_j de la DMU indicada por el número de fila en la que se encuentre, donde el valor indicado en el paréntesis será el valor de λ y el número que le precede será el valor de j . En definitiva indica las DMUs (con el valor entero que precede a los paréntesis) en las que se ha proyectado la DMU de la fila en la que nos encontremos, y en qué proporción se ha proyectado sobre la combinación lineal de cada una (valor indicado entre paréntesis).
- **{S}** \Rightarrow las columnas que contienen esta expresión indican los valores de las holguras tanto de las entradas (si en el título de la columna aparece la expresión {I} o {IN}) como de las salidas (si aparece {O} o {ON}).

Una vez resuelto el modelo tradicional adecuado mediante el programa EMS, el software creado resolverá el modelo de suma de salidas constante CSO. A continuación se expone el funcionamiento de dicho software.

¹Restricción aplicable sólo en el caso de Retorno de Escala Variable.

2.2. Software para implementación CSO.

En primer lugar se mostrará un diagrama de flujo del programa para mostrar, en líneas generales el funcionamiento del mismo.

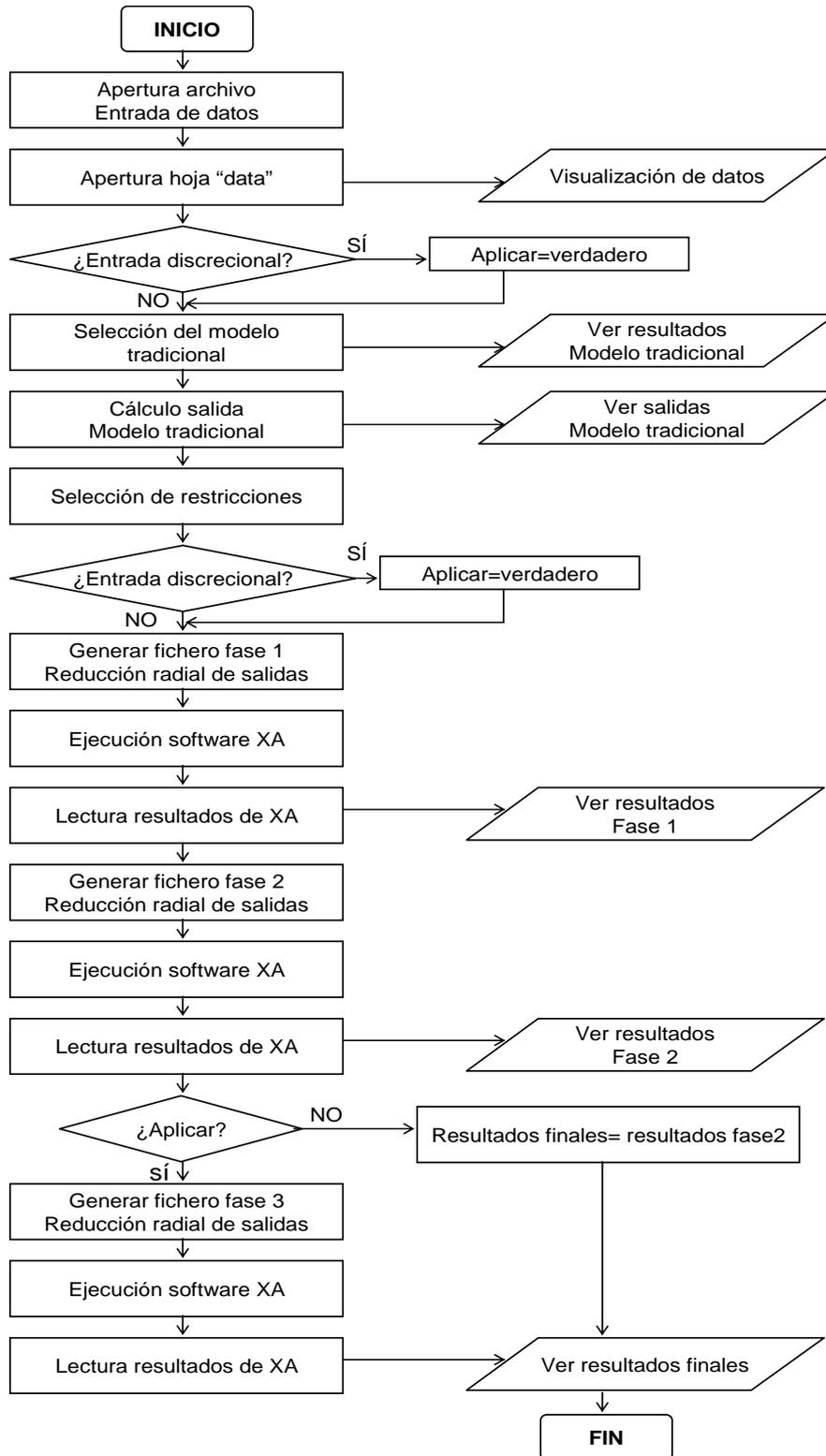


Figura 5.2.6. Diagrama de flujo del software desarrollado.

Tras ver cómo sería el software en líneas generales, se muestran a continuación algunas funciones que se han considerado de mayor relevancia la selección del modelo tradicional.

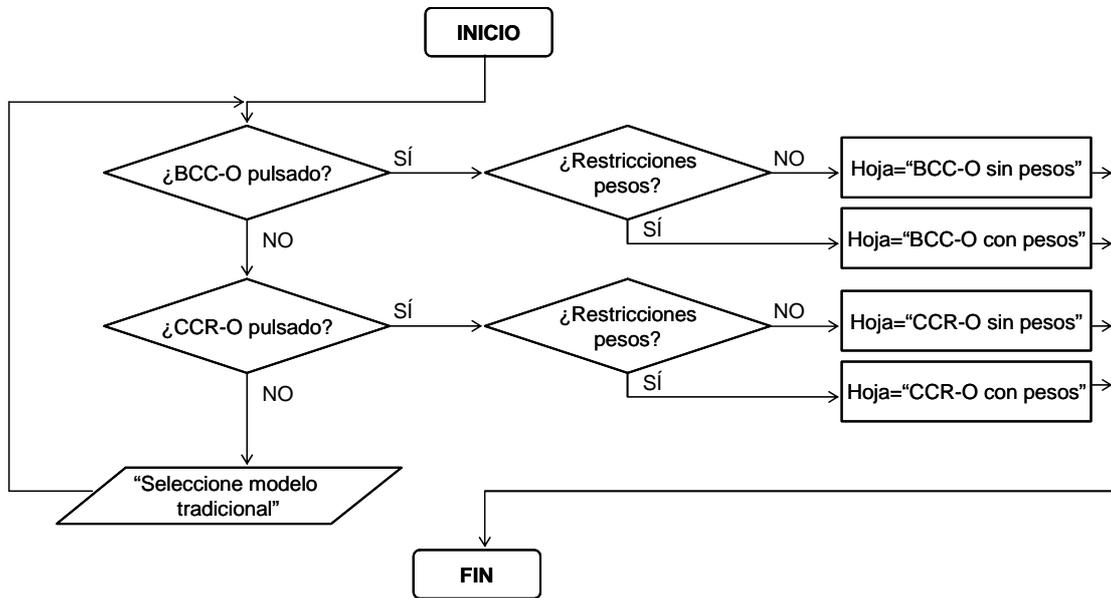


Figura 5.2.7. Diagrama de flujo “Selección modelo tradicional”.

Y el diagrama de flujo del módulo “generar fichero”.

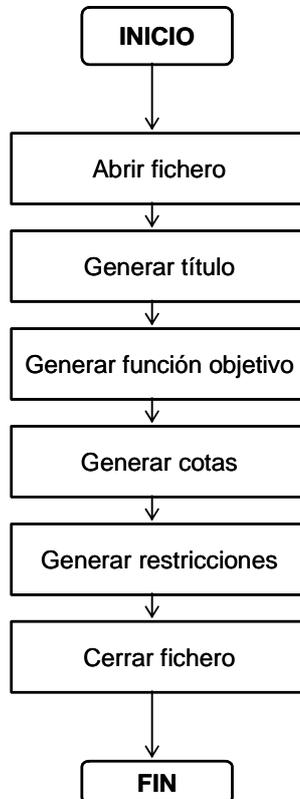


Figura 5.2.8. Diagrama de flujo “Genera fichero”.

2.2.1. Primera etapa: resolución del modelo tradicional.

Tal y como ya se ha indicado, la aplicación parte de un fichero Excel que contiene los resultados del programa EMS y como hemos visto, en éste ya se especifican una serie de opciones. Estas opciones deben estar indicadas en el nombre de la hoja que se usará como entrada de parte de los datos de la aplicación. Los posibles nombres de la hoja de entrada de datos serán: “BCC-O con pesos”, “BCC-O sin pesos”, “CCR-O con pesos” y “CCR-O sin pesos”. El resto de los datos, es decir, los valores iniciales de las entradas y salidas, deben aparecer en el archivo en una hoja “data”, que tiene el mismo formato que para EMS. Además, si vamos a usar un modelo con restricciones de pesos, también tiene que haber una hoja “Weight” donde la aplicación leerá tales restricciones.

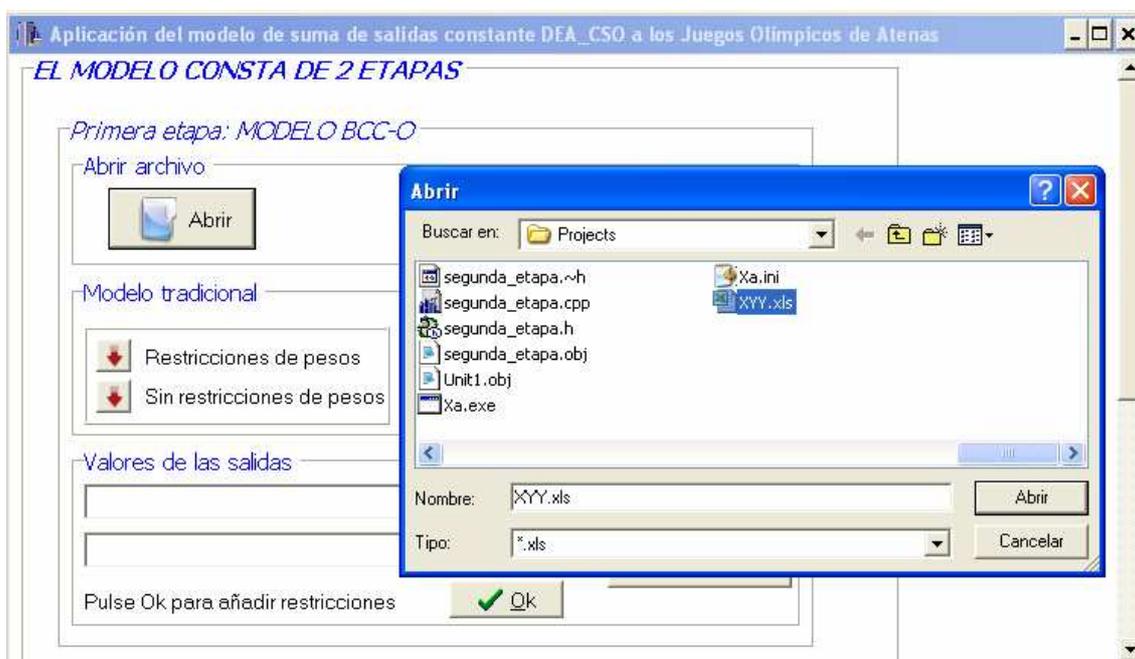


Figura 5.2.9. Software CSO-Abrir archivo de entrada.

Una vez seleccionado el archivo de entrada, la aplicación pedirá al usuario que indique el número de decimales que se van a utilizar. Esto es importante ya que según la naturaleza de los datos con los que se esté trabajando, interesará conocer éstos con más o menos exactitud.



Figura 5.2.10. Software CSO-Selección del número de decimales.

A continuación se muestran los datos iniciales y según se pulsen o no los botones de aplicar restricciones de pesos y modelo de retornos de escala constante o variable, se abrirá como datos una de las hojas indicadas anteriormente. Con dichos datos se calculan las salidas del modelo tradicional adecuado. Mediante estos datos, la aplicación localiza qué entradas y salidas son discretionales y cuáles no, mostrando tal información a través de la interfaz.

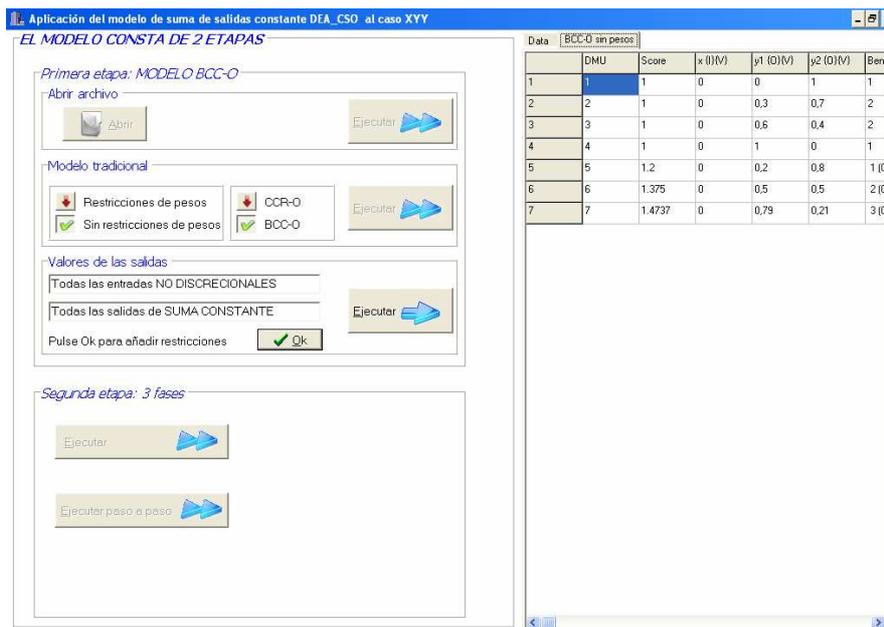


Figura 5.2.11. Software CSO-Selección de restricciones.

Por defecto la aplicación considera que todas las salidas deben cumplir que se mantenga constante la suma de todas las salidas. Si se desea modificar esta restricción, la aplicación da la opción de seleccionar qué salidas deberán cumplir esta condición.

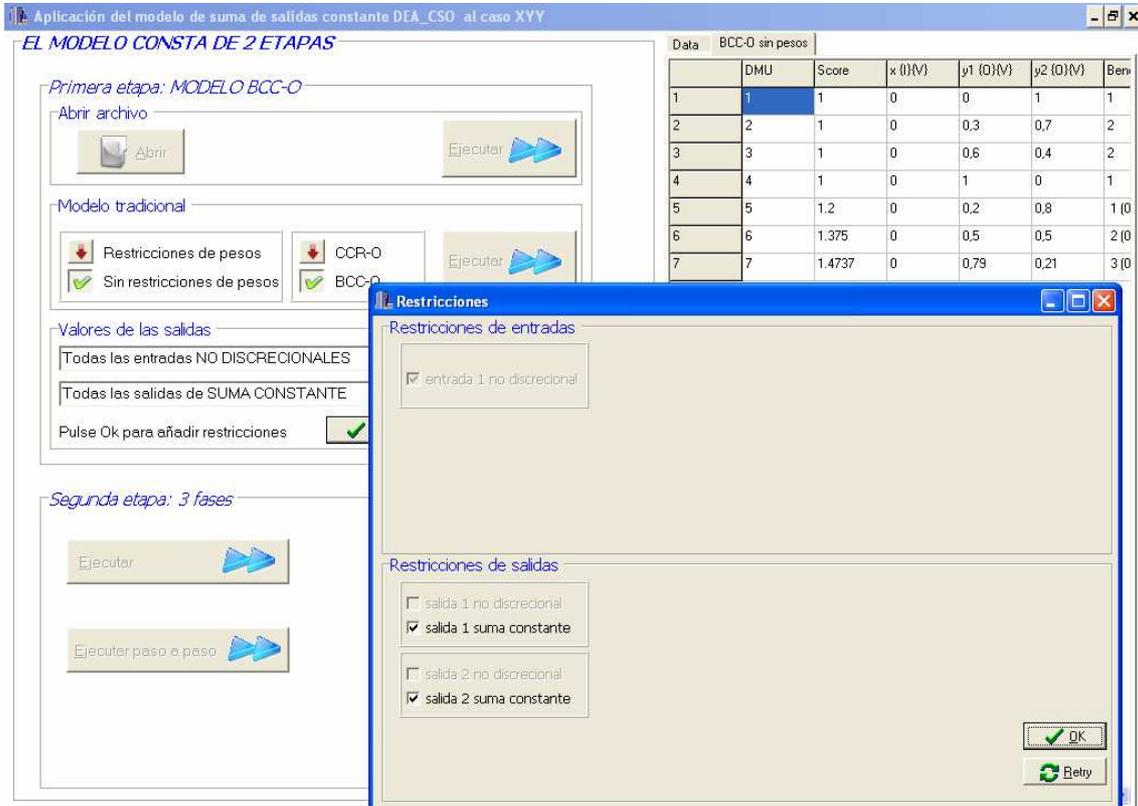


Figura 5.2.12. Software CSO-Restricciones adicionales.

Pulsando sobre la pestaña de cada salida en la ventana mostrada anteriormente, podremos añadir o quitar la restricción de suma de salida constante en la salida deseada.

Llegados a este punto, se mostrarían los resultados de la primera etapa, que es la solución al modelo tradicional seleccionado con las restricciones pertinentes. Activando el botón “Ejecutar” se genera la tabla de resultados mostrados a continuación:

Aplicación del modelo de suma de salidas constante DEA_CS0 al caso XYY

EL MODELO CONSTA DE 2 ETAPAS

Primera etapa: MODELO BCC-O

Abrir archivo

Modelo tradicional

Restricciones de pesos CCR-O
 Sin restricciones de pesos BCC-O

Valores de las salidas

Todas las entradas NO DISCRECIONALES
 Todas las salidas de SUMA CONSTANTE

Segunda etapa: 3 fases

Data	BCC-O sin pesos	Resultados primera etapa	
DMU	X_1-etapa1	Y_1-etapa1	Y_2-etapa1
1	1	1	8
2	1	2	7
3	1	3	5
4	1	4	2
5	1	1,8	7,2
6	1	2,8	5,5
7	1	3,7	3
SUMA		18,2	37,7

Figura 5.2.13. Software CSO-Primera etapa: Resultados modelo tradicional.

2.2.2. Segunda etapa: ajuste de entradas y salidas.

La segunda etapa consta a su vez de tres fases, que constituyen el modelo CSO en sí. Para resolver el modelo de optimización presentado en cada fase, la aplicación hace uso del programa de optimización XA, para lo cual, debe escribir un fichero de texto con las restricciones necesarias en cada caso, que deberá tener un formato determinado y además ser nombrado con la extensión “.lp” para que el programa XA lo reconozca. Con este fichero, la aplicación hace la llamada al programa XA. El esquema del proceso seguido sería el siguiente:

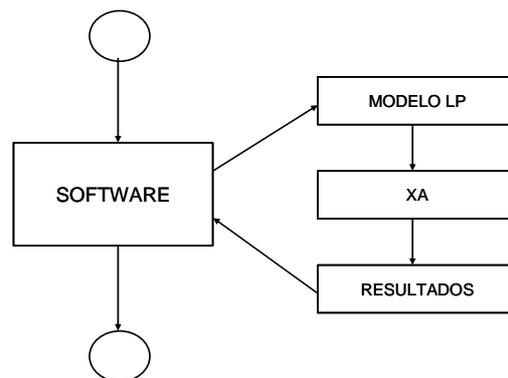


Figura 5.2.14. Diagrama llamada al software XA.

Una vez hecha la llamada, el software XA presenta los resultados del problema a través de otro fichero de texto de extensión “.res” y que también tiene un formato determinado. Conociendo tal formato, la aplicación se encarga de leer los resultados, interpretarlos y mostrarlos por pantalla.

Esto se realiza para cada una de las tres fases del modelo CSO. La primera y segunda fase se ejecutarán en cualquier caso. La tercera solamente se ejecutará en el caso en que exista alguna entrada discrecional, o alguna salida que no deba cumplir la restricción de suma de salida constante.

Para la ejecución de la segunda fase, se puede optar por ejecutar las fases paso a paso, si el usuario desea conocer los resultados intermedios, o bien ejecutarlas consecutivamente, si sólo se desean conocer los resultados finales.

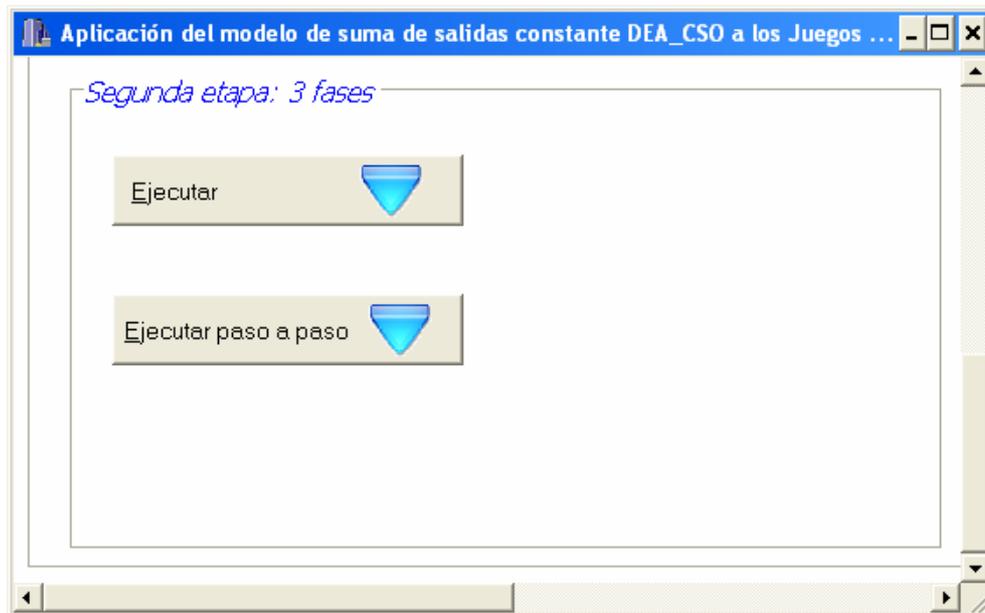


Figura 5.2.15. Software CSO-Segunda etapa: selección del modo de ejecución.

En el caso de seleccionar el modo paso a paso, la ventana mostrada sería la siguiente:

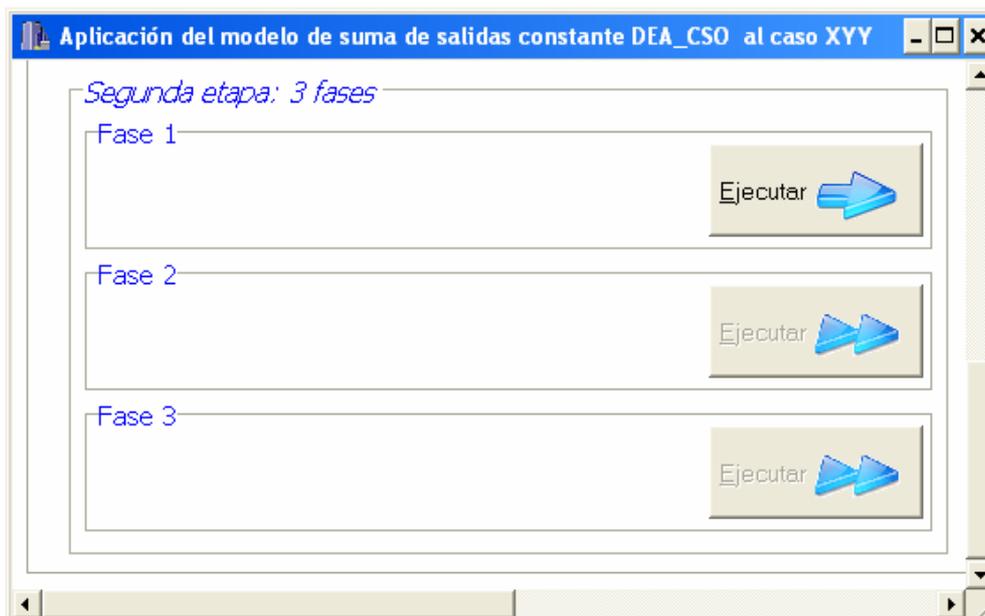


Figura 5.2.16. Software CSO-Segunda etapa: ejecución paso a paso.

donde al activar el botón "Ejecutar" se resolvería cada una de las fases y se mostraría una tabla con los resultados de cada una de ellas.

Resultados de la fase de reducción radial de salidas (fase 1). Las sumas de las salidas en esta fase no permanecen constantes, sino que son menores.

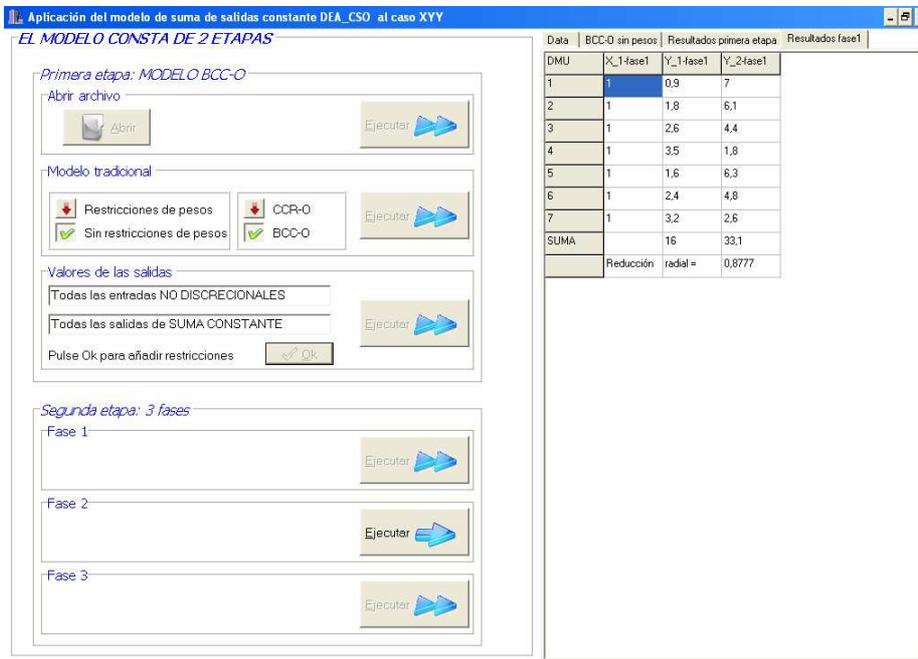


Figura 5.2.17. Software CSO-Segunda etapa: Reducción radial de salidas.

Resultados de la fase de ajuste de salidas de suma constante. Aumentan las salidas hasta conseguir que el valor de su suma sea el valor inicial.

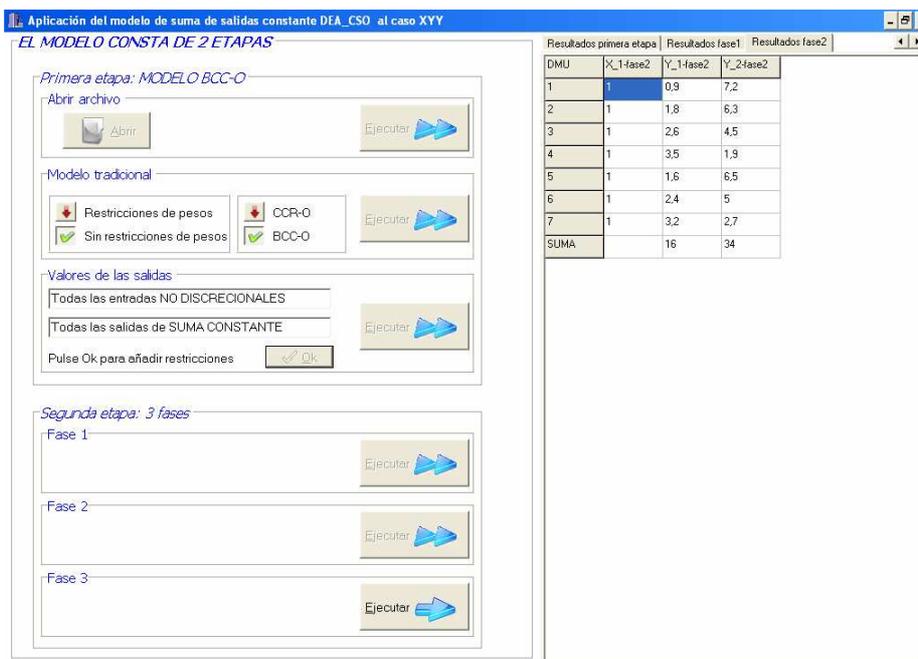


Figura 5.2.18. Software CSO-Segunda etapa: Ajuste salidas de suma constante.

Por último se presentan los resultados finales que en este caso coinciden con los resultantes de la segunda etapa, ya que en este ejemplo no se ha ejecutado la última fase al no haber entradas discretionales ni salidas con suma variable.

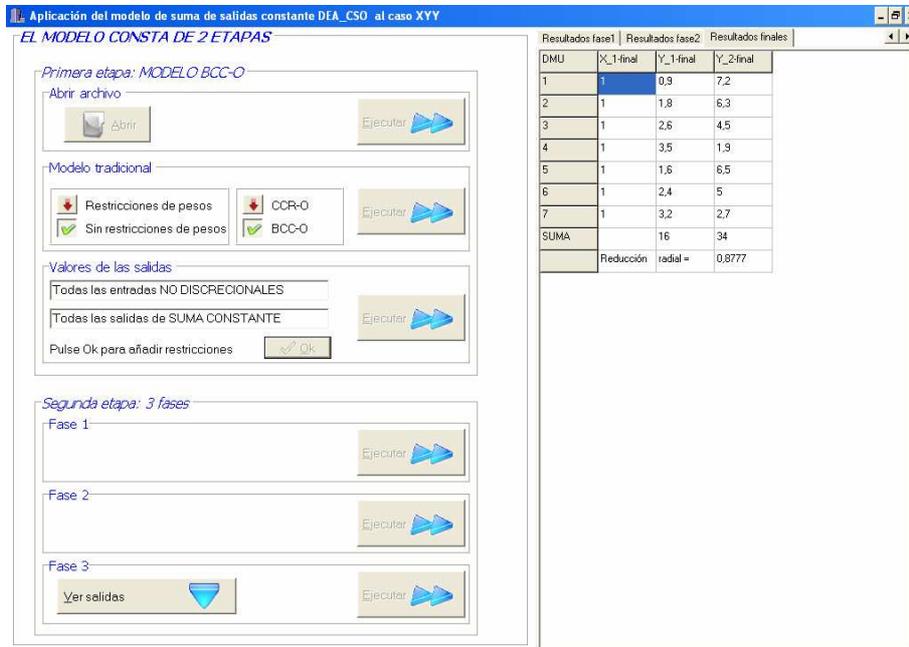


Figura 5.2.19. Software CSO-Segunda etapa: Ajuste del resto de entradas y salidas.

Si se selecciona el modo de ejecución directa, la pantalla obtenida sería directamente ésta:

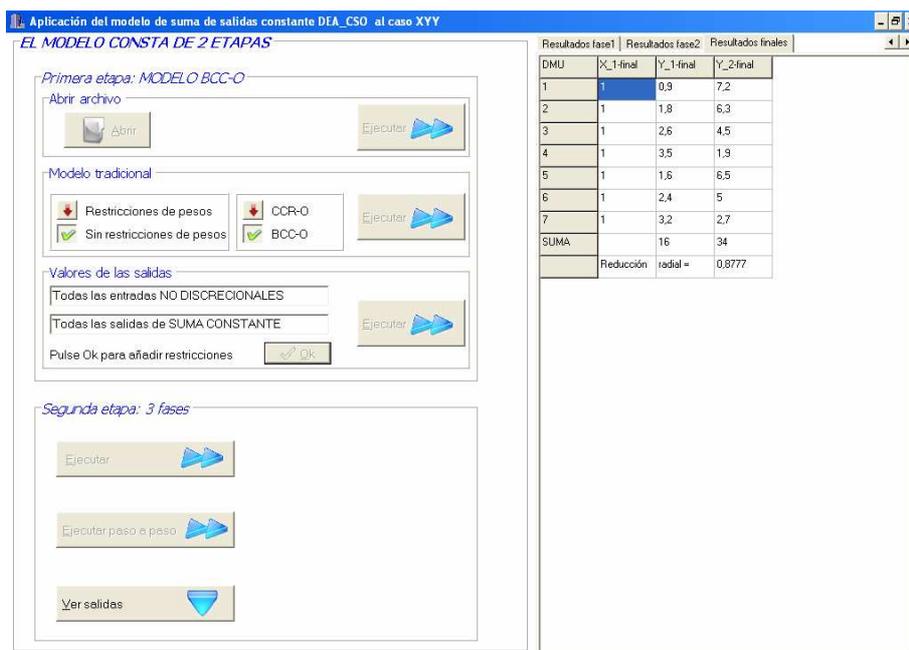


Figura 5.2.20. Software CSO-Segunda etapa: Resultados finales.

Una vez ejecutada la segunda fase del modelo mediante cualquiera de las dos formas mencionadas anteriormente, la aplicación permite mostrar en una nueva ventana los resultados finales de cada DMU. De una manera muy intuitiva, usando un gráfico, se representa cuál ha sido el comportamiento de cada una de las unidades productivas. En la nueva ventana se selecciona la DMU en estudio y a continuación aparece un gráfico que muestra el crecimiento o reducción (si el valor resulta negativo) relativo de cada una de las entradas y salidas de la unidad productiva.

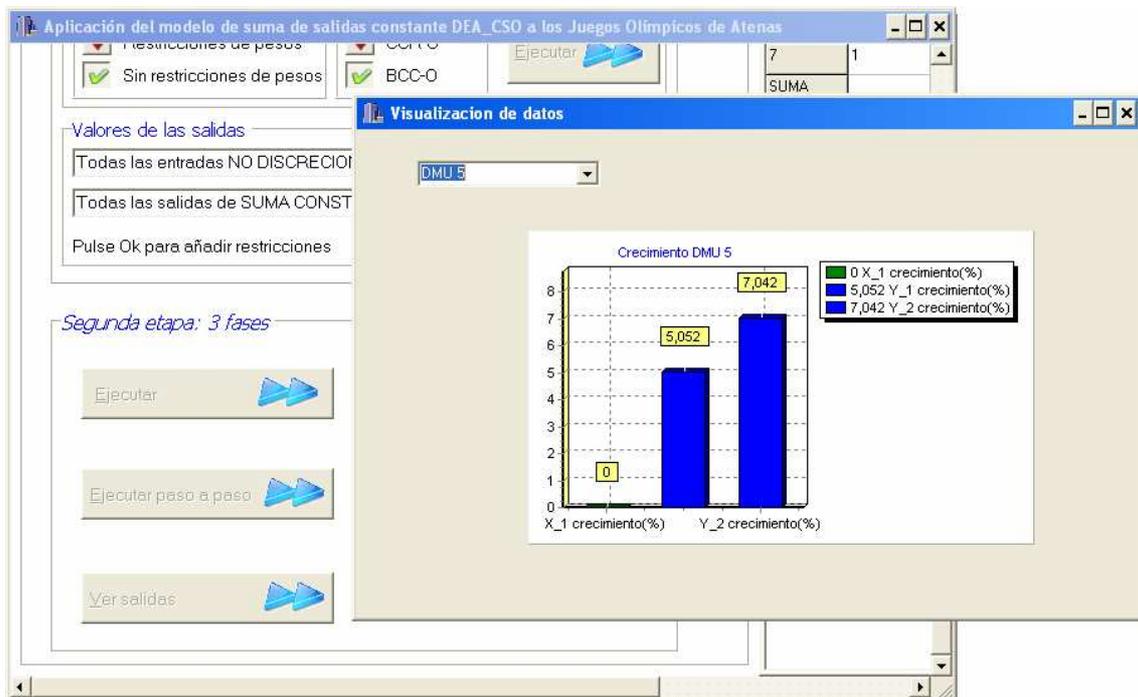


Figura 5.2.21. Software CSO-Visualización de datos.

3. Análisis de Resultados CSO en el Caso XY_1Y_2 .

Para analizar con mayor claridad los resultados del modelo CSO propuesto, se estudia el caso de 7 unidades productivas cada una de las cuales consta de una única entrada y dos salidas al que se llama caso XY_1Y_2 .

Los valores de los datos son los siguientes:

DMU	DATA		
	x	y1	y2
1	1	1	8
2	1	2	7
3	1	3	5
4	1	4	2
5	1	1.5	6
6	1	2	4
7	1	2.5	2
TOTAL	7	16	34

Tabla 5.3.1. Datos del caso XY_1Y_2 .

A continuación se mostrará el comportamiento del modelo en diversos escenarios. Para poder representar la solución gráficamente, se ha considerado un valor de la entrada constante e idéntico para todas las DMUs y de valor la unidad, además se considerarán distintos escenarios:

- escenario I $\Rightarrow y_1, y_2 \in O^{\text{const}}$.
- escenario II $\Rightarrow y_1 \in O^{\text{const}}$ e $y_2 \notin O^{\text{const}}$.
- escenario III $\Rightarrow y_1 \notin O^{\text{const}}$ e $y_2 \in O^{\text{const}}$.

Ejecutamos la aplicación en cada uno de los escenarios para posteriormente analizar los resultados.

3.1. Escenario I: Todas las salidas con suma constante.

- Caso $y_1, y_2 \in O^{const}$.

En este caso la aplicación toma los valores por defecto: todas las salidas son de suma constante.



Figura 5.3.1. Resultados CSO-Escenario I.

Los resultados obtenidos en este escenario, junto con los del modelo tradicional, son los mostrados a continuación:

DMU	DATA		BCC-O MODEL			CSO-DEA MODEL ($y_1, y_2 \in O^{const}$)			
	y1	y2	Y1	y2	γ_p^{OXXB}	y1	y2	t1	T2
1	1	8	1	8	1	0.9	7.2	0	0.14
2	2	7	2	7	1	1.8	6.3	0	0.14
3	3	5	3	5	1	2.6	4.5	0	0.14
4	4	2	4	2	1	3.5	1.9	0	0.14
5	1.5	6	1.8	7.2	1.20	1.6	6.5	0	0.14
6	2	4	2.8	5.5	1.38	2.4	5.0	0	0.14
7	2.5	2	3.7	2.9	1.47	3.2	2.7	0	0.14
TOTAL	16	34	18.2	37.6	---	16	34	0	0.97
						$\delta^* = 0.8777$			

Tabla 5.3.2. Resultados CSO-Escenario I.

Vemos cómo el modelo tradicional aumenta todas las salidas, de forma que la suma no permanece constante: $\sum y_1 = 16$ en los datos de partida, pero $\sum y_1 = 18.2$ en el modelo tradicional. Sin embargo, dicha restricción sí se cumple en el modelo CSO. Además, como ambas salidas son discretionales y de suma constante, aunque han cambiado los valores de ambas salidas, la suma de ambas permanece constante.

Con más claridad podemos ver estos valores representados gráficamente, tanto del modelo tradicional como de modelo CSO:

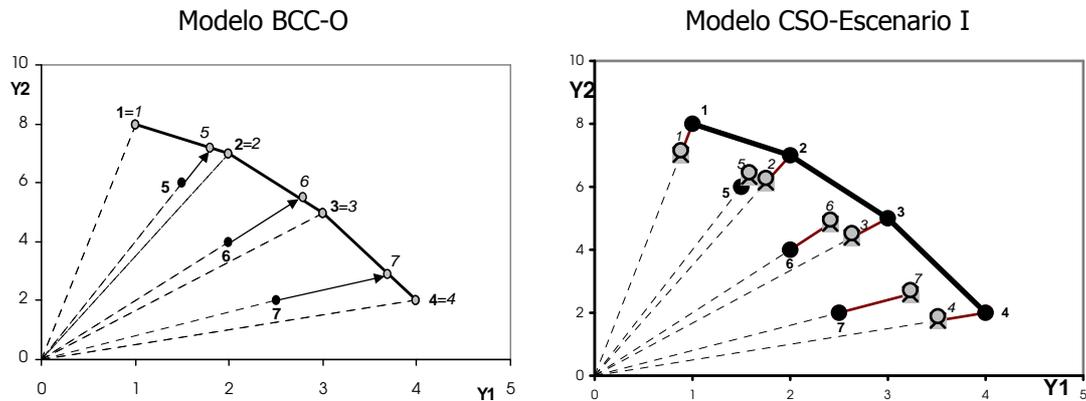


Figura 5.3.2. Gráficos Modelo BCC-O y modelo CSO-escenario I

3.2. Escenario II: Consideración alguna salida con suma variable.

- Caso $y_1 \in O^{const}$ e $y_2 \notin O^{const}$.

En este caso debemos seleccionar durante la ejecución, que la salida y_1 no cumpla la restricción de suma de salida constante.

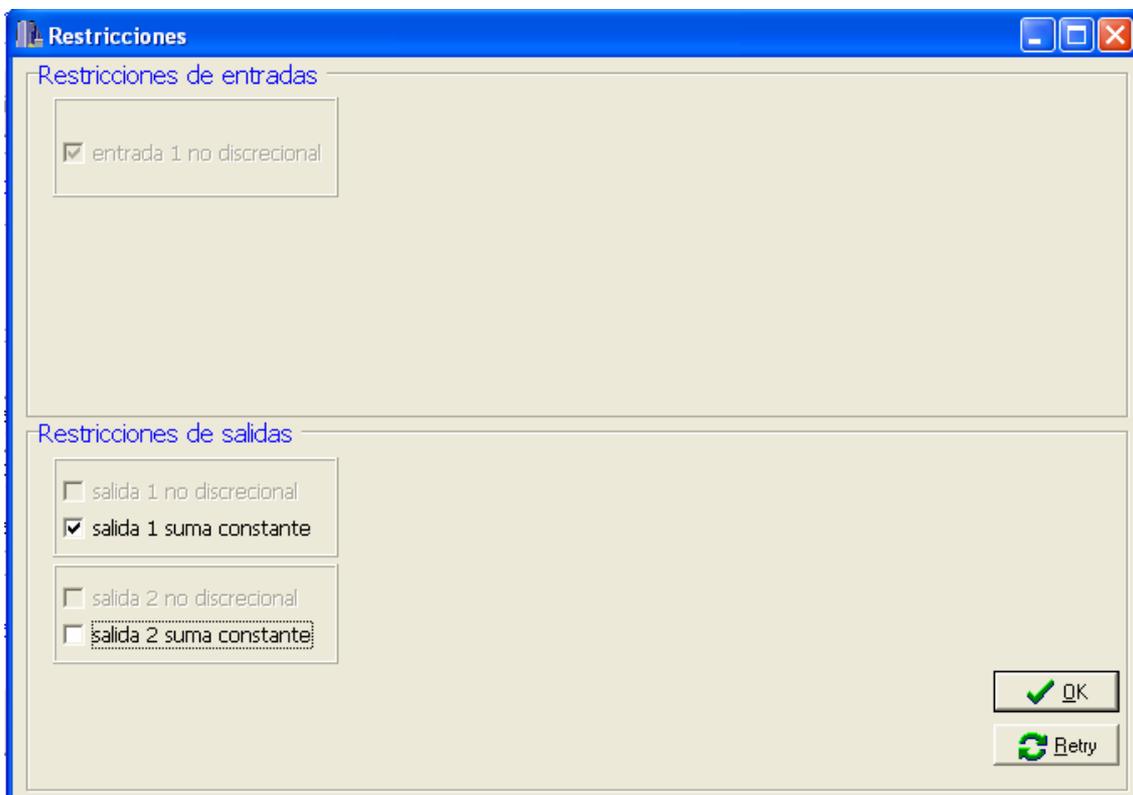


Figura 5.3.3. Resultados CSO-Añadir restricciones escenario II, caso 1.

Los valores por defecto de la aplicación serían que ambas salidas fueran de suma constante. Pulsando de nuevo sobre la pestaña de la salida 2 deseleccionaríamos dicha opción, con lo que tendríamos que la suma de la salida una debe permanecer constante mientras que la de la salida 2 no. Mostramos los resultados obtenidos:

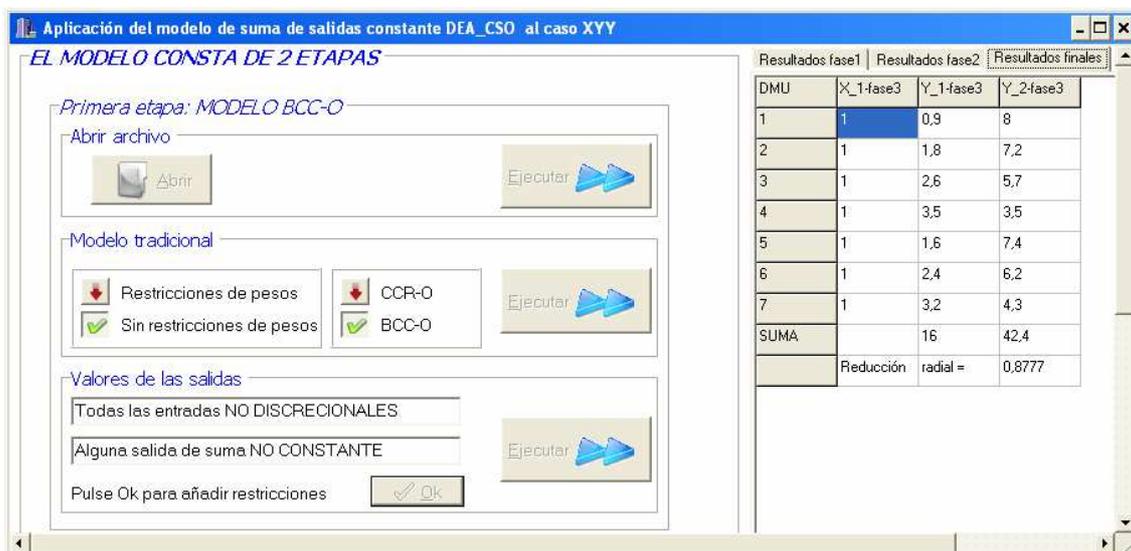


Figura 5.3.4. Resultados CSO-Escenario II, caso 1.

Podemos ver los resultados con más detalle en la siguiente tabla:

DMU	DATA		BCC-O MODEL			CSO-DEA MODEL ($y_1 \in 0^{const}, y_2 \notin 0^{const}$)			
	y1	y2	Y1	y2	γ_p^{OXXB}	y1	y2	t1	q2
1	1	8	1	8	1	0.9	8.0	0	0.98
2	2	7	2	7	1	1.8	7.2	0	1.10
3	3	5	3	5	1	2.6	5.7	0	1.35
4	4	2	4	2	1	3.5	3.5	0	1.72
5	1.5	6	1.8	7.2	1.20	1.6	7.4	0	1.10
6	2	4	2.8	5.5	1.38	2.4	6.2	0	1.35
7	2.5	2	3.7	2.9	1.47	3.2	4.3	0	1.72
TOTAL	16	34	18.2	37.6	---	16	42.3	0	9.31
						$\delta^* = 0.8777$			

Tabla 5.3.3. Resultados CSO-Escenario II, caso 1.

En este caso, tal y como era de esperar, la suma de la primera salida permanece constante $\sum y_1 = 16$ ya que hemos impuesto esa restricción; mientras que la salida aumenta el valor de su suma $\sum y_2 = 42.3$, cuando la suma de la salida 2 en los datos era 34.

Gráfico con los resultados del modelo BCC-O y el modelo CSO en este escenario II:

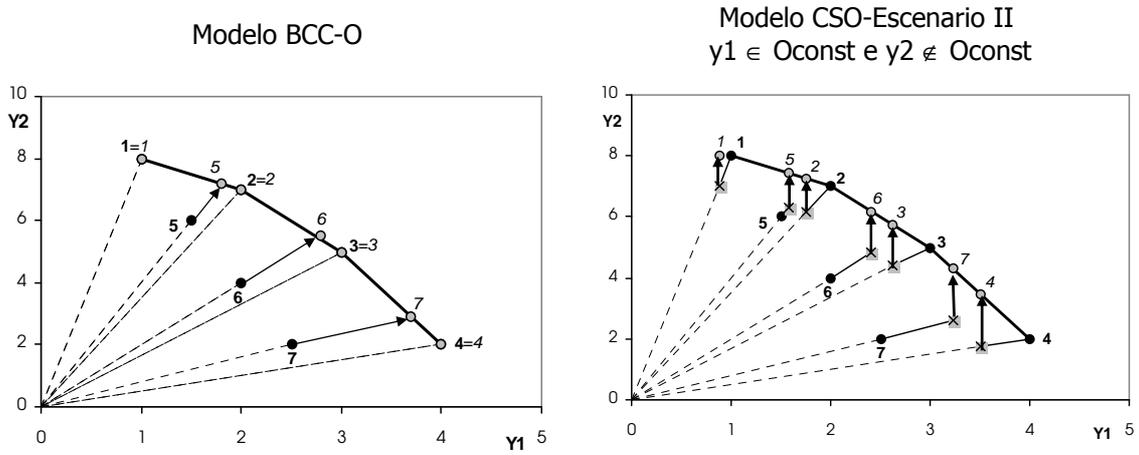


Figura 5.3.5. Gráfico Modelo BCC-O y modelo CSO-escenario II.

- Caso $y1 \notin O^{const}$ e $y2 \in O^{const}$.

Ahora será y_2 la salida que no tiene que cumplir la suma de salida constante, y por tanto, debemos indicarlo en la ejecución.

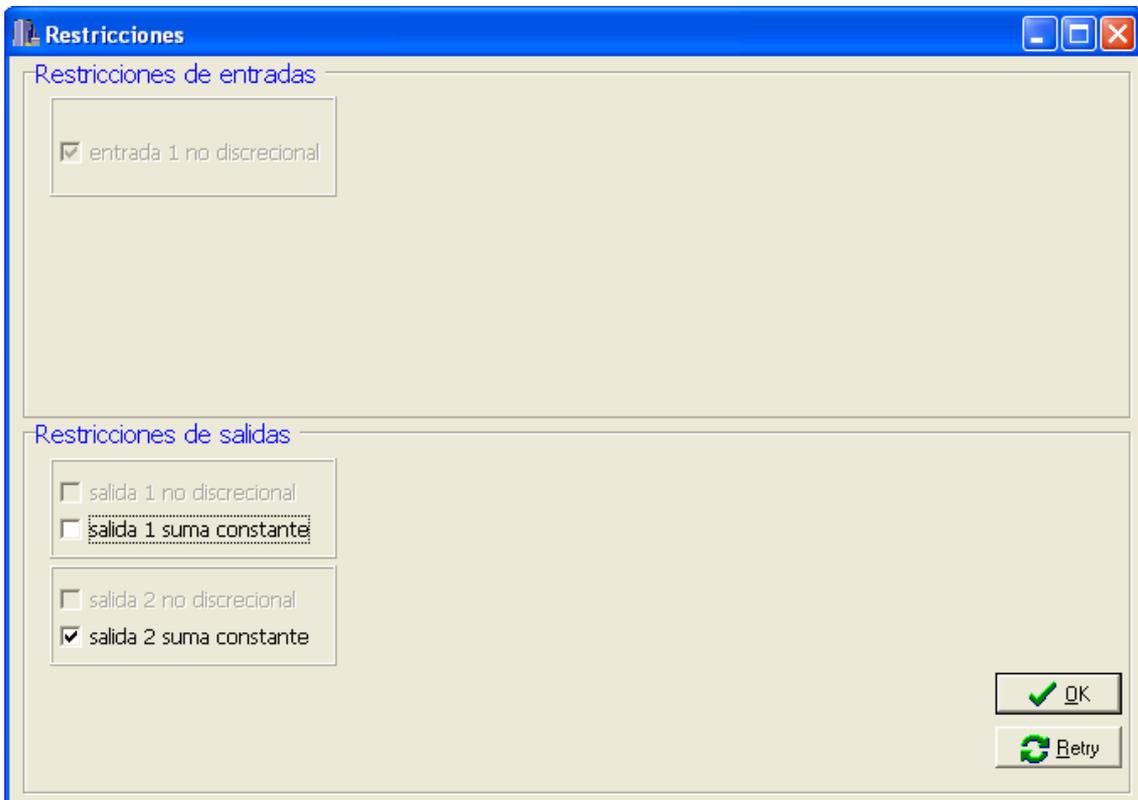


Figura 5.3.6. Resultados CSO-Añadir restricciones escenario II, caso 2.

En esta ocasión estamos en la situación contraria: hay que pulsar en la pestaña de la salida 1 para deseleccionarla y que su suma no deba permanecer constante.



Figura 5.3.7. Resultados CSO-Escenario II, caso 2.

La tabla siguiente muestra el valor de las variables obtenidas en este último escenario:

DMU	DATA		BCC-O MODEL			CSO-DEA MODEL ($y_1 \notin O^{const}, y_2 \in O^{const}$)			
	y1	y2	Y1	y2	γ_p^{OXXB}	y1	y2	q1	t2
1	1	8	1	8	1	1.8	7.2	0.87	0
2	2	7	2	7	1	2.3	6.3	0.53	0
3	3	5	3	5	1	3.2	4.5	0.45	0
4	4	2	4	2	1	4.0	1.8	0.39	0
5	1.5	6	1.8	7.2	1.20	2.2	6.5	0.62	0
6	2	4	2.8	5.5	1.38	3.0	5.0	0.53	0
7	2.5	2	3.7	2.9	1.47	3.8	2.7	0.45	0
TOTAL	16	34	18.2	37.6	---	20.3	34	3.85	0
						$\delta^* = 0.9028$			

Tabla 5.3.4. Resultados CSO-Escenario II, caso 2.

Vemos que en este es el contrario al escenario anterior. Aquí es la segunda salida la que mantiene su suma constante $\sum y_2 = 34$, mientras que la primera aumenta de 16 a 20.4.

A continuación se muestra la representación gráfica de los valores calculados para este escenario:

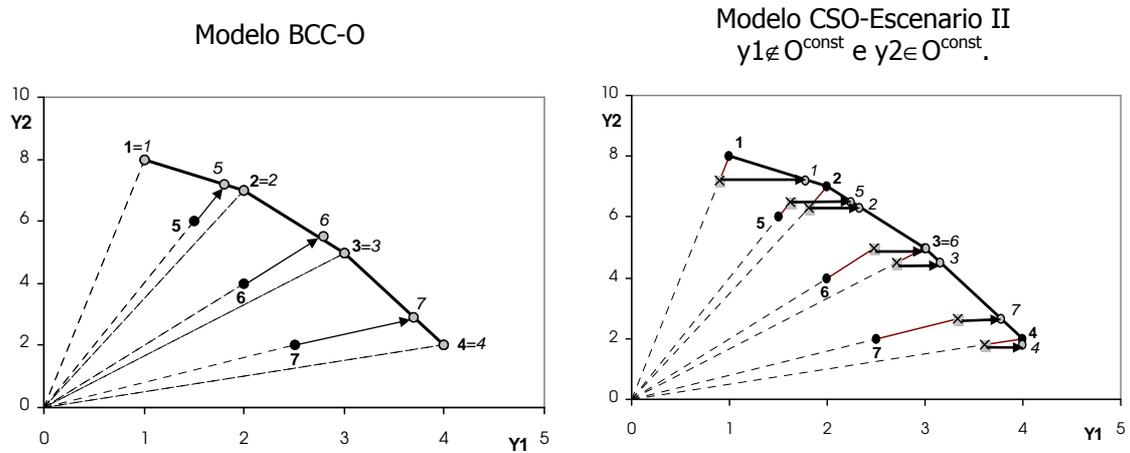


Figura 5.3.8. Gráfico Modelo BCC-O y modelo CSO-escenario III.

3.3. Consideraciones comunes.

Hay que hacer notar que en el escenario I no es necesaria la aplicación de la tercera fase ya que todas las salidas pertenecen al conjunto O^{const} . El resultado de la primera fase está representado mediante una cruz y reduce equiproporcionalmente la solución obtenida por el modelo BCC-O. Respecto a los datos originales, se observa que para algunas DMUs se reduce y para otras se incrementa el valor de ambas salidas, posicionándose los *targets* de esta primera fase en una frontera de puntos ineficientes equidistantes a la frontera eficiente. La segunda fase, representada mediante un círculo gris, busca mediante holguras los *targets* más aproximados a los ofrecidos por la fase I. Finalmente los *targets* no están posicionados en la frontera eficiente. Esto conlleva a que unidades productivas eficientes deben funcionar peor de lo que lo estaban haciendo para permitir la mejora de otras unidades, ya que su eficiencia era la causante en cierta medida de la ineficiencia de las que eran ineficientes.

En los escenarios II y III la mayor parte de los *targets* proporcionados por el método se posicionan en la frontera eficiente, debido a las pocas dimensiones que el problema posee.

A continuación se van a representar algunos de los gráficos obtenidos en la resolución de este modelo haciendo algunas interpretaciones.

3.4. Gráficos.

Se exponen a continuación algunos de los gráficos resultantes del escenario I (ambas salidas de suma constante) para las DMUs más representativas, añadiendo la interpretación de algunos de los resultados. El resto de gráficos de las demás unidades productivas, o del resto de escenarios, se encuentran en el anexo al final del trabajo.

Los gráficos muestran el crecimiento (o reducción) de cada una de las entradas y salidas de la unidad productiva seleccionada. La ecuación empleada para el cálculo del crecimiento es la siguiente:

$$\frac{|\text{valor_final} - \text{valor_inicial}|}{\text{MAX}(\text{valor_final}, \text{valor_inicial})} * 100$$

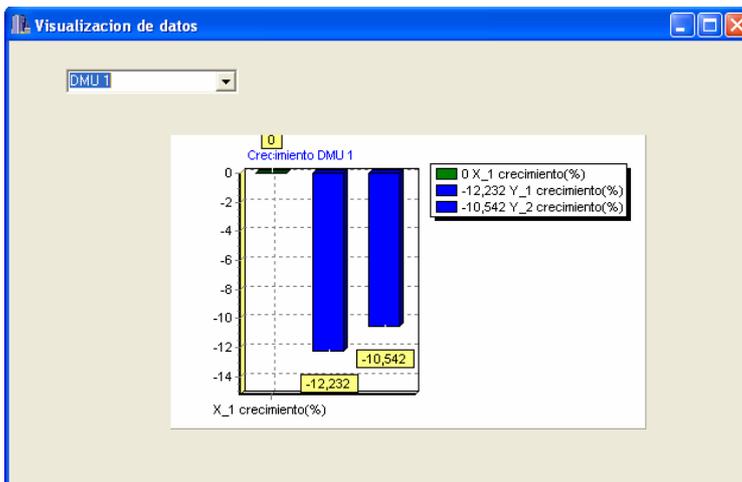


Figura 5.3.9. Crecimiento DMU₁-escenario I.

Observando la DMU₁ vemos que el crecimiento de la entrada ha sido nulo. Esto es debido a que la entrada es no discrecional y por tanto no ha de variar, su crecimiento es cero. En cuanto a las salidas, se aprecia un crecimiento negativo, es decir, un decrecimiento, lo que corresponde con unas salidas del modelo CSO menores a las salidas originales.

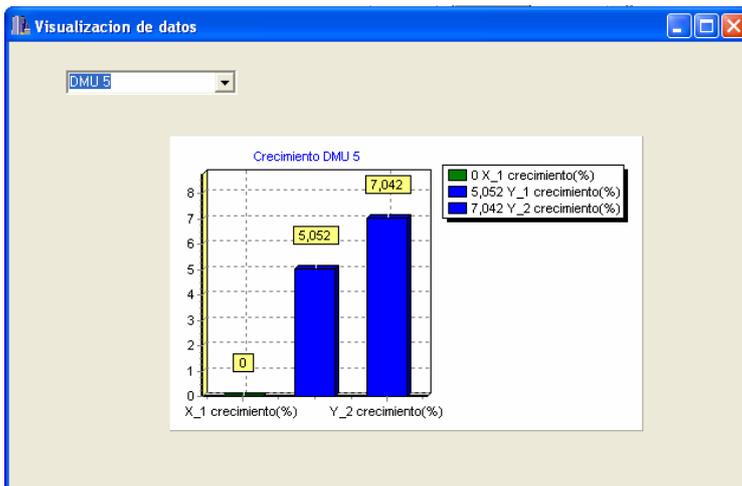


Figura 5.3.10. Crecimiento DMU₅-escenario I.

En el caso de la DMU₅ el crecimiento de las salidas es mayor que cero, lo que indica que las soluciones de las salidas del modelo CSO son mayores a los valores de las salidas en los datos de partida, la DMU por tanto debe aumentar sus salidas. En cuanto a la entrada sigue siendo de crecimiento nulo debido a su no discrecionalidad.