

# DOS MODELOS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE UNA EMPRESA CONSTRUCTORA

## TWO MODELS TO DETERMINE THE EFFICIENCY OF A CONSTRUCTION FIRM

CARMEN RESCALA, GUSTAVO DEVINCENZI, GRICELA ROHDE, M.<sup>a</sup> LILIANA BONAFFINI,  
MARTA V. GIRAUDO, GUSTAVO BERNAOLA, RITA PAVÓN (BECARIA)<sup>1</sup>

### Resumen

Para determinar e interpretar la eficiencia en la gestión de administración en una empresa constructora de la ciudad de Resistencia, Chaco, se aplicaron dos modelos, el ACP (modelo estadístico que consiste en el Análisis de las Componentes Principales) y el DEA (modelo matemático que radica en el Análisis Envoltente de Datos).

La evaluación de la eficiencia relativa mediante la modelación DEA requiere, cuando las variables son numerosas, de un paso previo en el que se seleccionan las que se consideran más representativas respecto de esa evaluación, tanto para las entradas (inputs) como para las salidas (outputs). Ese paso previo se materializa mediante el ACP.

**Palabras clave:** Modelación ACP-DEA, Eficiencia, Correlación, Componentes principales.

### Abstract

To determine and interpret the efficiency in the management of a construction firm in the city of Resistencia, Chaco, two models were applied, the PCA (statistical model that consists of the Principal Component Analysis) and DEA (mathematical model that lies in the Data Envelopment Analysis).

Assessing the relative efficiency by DEA modeling requires, when variables are numerous, a step in which you select those considered most representative for that evaluation, both for inputs (inputs) to the outputs (outputs). This step is implemented by the PCA.

**Key Words:** PCA-DEA modeling, Efficiency, Correlation, Principal components.

---

<sup>1</sup> carmenrescala@yahoo.com.ar, gdevin@ing.unne.edu.ar, grohde@eco.unne.edu.ar, mbonaffini@eco.unne.edu.ar, gustavo@edesycc.com.ar, marta\_giraudo@yahoo.com.ar, pavon\_rita85@hotmail.com.

## INTRODUCCIÓN

Las razones que justifican la realización de este trabajo están dadas por la necesidad de mejorar la eficiencia para lograr un aumento en la calidad y la productividad de una empresa constructora que desarrolla su actividad en la Provincia del Chaco.

Una de las actividades económicas más importantes de nuestro país es la que desarrolla la industria de la construcción. En el sector industrial, que es el segundo de los sectores de la producción, la industria de la construcción presenta caracteres complejos y una serie de particularidades específicas que condicionan la existencia, estructura y funcionamiento de las empresas que operan en este mercado. Participan de su micro y macro entorno: una demanda que puede ser privada o pública, una oferta de la que participan empresas constructoras o profesionales independientes, proveedores provinciales, regionales, nacionales o extranjeros, competidores locales y foráneos, todo ello enmarcado por enormes barreras de entrada y pocas barreras de salidas.

Los análisis se han efectuado para medir la eficiencia de empresas que se mueven en el sector de la obra pública y cuya gestión de administración es necesario mejorar para atenuar las consecuencias derivadas de las características que están presentes en el sector de la construcción y que se exponen a continuación:

- La actividad que desarrollan no sólo incide en el aspecto económico, también alcanza el social, contribuyendo a la satisfacción de necesidades básicas del hombre, tales como vivienda, electrificación y agua potable, entre otros.
- Están sometidas a una competencia intensa, a la discontinuidad de los trabajos, a la caída en la inversión, al incremento de los costos, a la reducción real de los precios y la a inseguridad en el trabajo. Esto da como resultado que sus utilidades sean bajas e incluso negativas, provocando una importante reducción en sus reservas para reponer el capital o modernizar las maquinarias y equipos y, en ocasiones, la venta de activos o recursos estratégicos, que son las competencias o capacidades críticas propias de la empresa sobre las que se sustenta para competir en el mercado. Pueden tratarse de recursos tangibles o intangibles<sup>2</sup>.
- Las prácticas administrativas de las entidades públicas en cuanto al tiempo que demoran para hacer efectivo el pago, hacen que los constructores asuman en

---

<sup>2</sup> KAPLAN, R.; NORTON, D. (2007). *Mapas Estratégicos*. Ediciones Gestión 2000. EEUU.

gran medida los riesgos financieros de la obra, sin obtener una compensación del riesgo asumido.

- Presentan producciones anticíclicas; atomización de las obras; legislaciones que imponen cláusulas gatillos (ajuste automático de los haberes de los obreros por convenio con el gremio según el índice del costo de vida) y desfasajes de tiempos, desde la apertura de una licitación hasta la puesta en marcha de la obra y desde allí hasta el cobro de certificados, hechos que colocan a los empresarios en una situación de incertidumbre.
- La adjudicación (en algunos casos) de las obras a la propuesta más baja, sin tener en cuenta la solvencia de la empresa, perjudica la inversión en investigación y desarrollo, en los procedimientos de capacitación y de trabajo así como en la consecución de la obra y la calidad de la misma.

Pero ¿qué significa mejorar la gestión de administración de una empresa? Son muchos los hombres de ciencias que dan respuesta a esta pregunta, pero todos coinciden en que lograr una administración eficiente es ingresar en el mundo de la administración científica la que, como afirma Deming<sup>3</sup> posibilita alcanzar la calidad y “mejorar la calidad engendrada de manera natural e inevitable, mejora la productividad”.

La existencia de este nuevo paradigma de gestión, basado en la administración científica, indica que la capacitación debe comenzar por el nivel estratégico de la empresa, para extenderse luego hacia los niveles ejecutivo y operativo.

La información estadística y los resultados arrojados por modelos matemáticos sirven para tomar decisiones, corregir errores, incrementar la productividad, fijar precios, optimizar el mantenimiento y la disponibilidad de las máquinas e instalaciones, mejorar la concesión y cobranza de los créditos, etc. Sin ellos una empresa no posee capacidad para reconocer cuáles son las operaciones y actividades que le son rentables y cuáles son las que le producen pérdidas. Actualmente para dirigir y gestionar, se hace necesario tener información, y la misma surge de las mediciones, procesos y análisis. Medir es un principio crítico para el éxito de toda organización.

Las empresas constructoras para su planificación estratégica necesitan como respaldo la información estadística que luego trasladarán al modelo DEA, creando así escenarios futuros de credibilidad y garantías para el desenvolvimiento de sus actividades y

---

<sup>3</sup> DEMING, E. (1989) *Calidad, Productividad y Competitividad*. Ediciones Díaz de Santos S. A. ESPAÑA.

para enfrentar con respuestas inmediatas -partiendo de datos reales- los procesos de cambios del mercado resultantes de la actual economía globalizada.

En este trabajo se pretende realizar un aporte a esa conducción científica en las empresas constructoras de Resistencia, Chaco.

## **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

Para este trabajo se llevó a cabo una investigación de campo y aplicada. De campo en virtud de que se utilizaron entrevistas y encuestas para el análisis del objeto de estudio, la eficiencia de la empresa considerada. Aplicada porque los datos adquiridos en el proceso de investigación fueron utilizados para la construcción de modelos matemático y estadístico.

La metodología fue de carácter explicativo porque se determinaron y compararon las variables más convenientes para el estudio de la eficiencia. El diseño metodológico fue de carácter cuali-cuantitativo porque se aplicaron entrevistas semi-estructuradas de elaboración propia al nivel superior de la empresa estudiada, y los datos de los Balances se utilizaron como base de datos para la aplicación de los modelos matemático y estadístico, a través de la aplicación de programas informáticos.

Para la realización de este estudio se efectuaron los siguientes pasos:

- Análisis de los Balances Contables correspondientes a los ejercicios económicos 1999-2011 de la empresa constructora (que para el presente trabajo denominaremos Empresa 1) para comprobar en cuál de ellos alcanzó la mejor eficiencia en su funcionamiento.
- Utilización del Análisis Envolvente de Datos, para apreciar el comportamiento de mayor eficiencia relativa, comparando unidades de análisis entre sí (denominadas como Unidades de Toma de Decisión, con su sigla en inglés DMU), determinando cuál o cuáles son las más eficientes del conjunto, rankeándolas.
- Aplicación del modelo estadístico ACP (Análisis de Componentes Principales) sobre el conjunto de inputs: Activo Corriente, Activo No Corriente, Pasivo Corriente, Pasivo No Corriente. Seleccionadas las componentes principales se realizó sobre ese nuevo conjunto de variables la modelización DEA- BCC orientado a los outputs. De la aplicación sucesiva de los dos modelos se obtuvieron los valores de eficiencia para las componentes principales surgidas de las originales.

- Aplicación del modelo matemático DEA, BCC orientado a los outputs sobre las variables de entrada y salida aconsejadas por el nivel superior de la empresa. Las variables de entrada fueron: Activo Corriente y Bienes de Uso y la de salida: Resultado Total.
- Contratación de los valores de eficiencia resultantes de la aplicación de los dos últimos ítems.
- Elaboración de las conclusiones.

### MODELOS UTILIZADOS

Para apreciar el comportamiento de mayor eficiencia relativa, se utilizó la técnica del Análisis Envolvente de Datos, que relaciona los valores de variables informadas como entrada / salida (inputs / outputs) de cada unidad de análisis o DMU (Unidades de Toma de Decisión, con sus siglas en inglés DMU), comparándolas entre sí, rankeándolas y determinando cuál o cuáles son las más eficientes del conjunto. Una vez definidas las variables y el modelo a utilizar, la técnica es totalmente objetiva y no requiere una asignación de ponderaciones previa. Existen varios modelos DEA, según se considere la optimización de los inputs para los outputs generados, o al revés, o bien una mezcla de ambos.

El modelo matemático elegido para el estudio de la eficiencia de la Empresa 1, es el DEA (Análisis Envolvente de Datos) orientado a los Outputs, y a partir de él se construyeron las restricciones basadas en la técnica de la programación lineal. El software utilizado fue el *Frontier Analyst*. Este modelo matemático tiene dos versiones: rendimientos constantes a escala (CCR) y rendimientos variables a escala (BCC).

La expresión matemática de las dos versiones del modelo DEA es:

	Modelo CCR:	Modelo BCC:
Función objetivo	$\text{Min}_{u,v} W_0 = \sum_{i=1}^m u_i x_{i0}$	$\text{Min}_{u,v,k_0} W_0 = \sum_{i=1}^m u_i x_{ij} - k_0$
Restricciones	$\sum_{i=1}^m u_i x_{ij} \geq \sum_{r=1}^s v_r y_{rj} \quad \text{con } j = 1, 2, \dots, n$	$\sum_{i=1}^m u_i x_{ij} - k_0 \geq \sum_{r=1}^s v_r y_{rj} \quad \text{con } j = 1, 2, \dots, n$
Restricción de normalización:	$\sum_{r=1}^s v_r y_{r0} = 1$	$\sum_{r=1}^s v_r y_{r0} = 1$
Variables de decisión (pesos)	$u_i; v_i \geq \epsilon > 0$	$u_i; v_i \geq \epsilon > 0 \quad k_0 \text{ es no restringida}$

Cuadro 1. Representación matemática de los modelos DEA

Si la unidad de negocios es eficiente será (100%) y existirá al menos un valor óptimo para cada una de las variables de decisión “ $u$ ” y “ $v$ ” positivos. El modelo BCC formulado arroja el valor de la constante “ $k_0$ ”, el que indica los rendimientos a escala de la unidad bajo análisis. La “escala” es la dimensión de la producción de una empresa determinada según la variación proporcional y simultánea de los factores inputs y outputs. Los valores que puede asumir “ $k_0$ ” son:

$k_0 > 0$ Rendimientos crecientes a escala	$k_0 = 0$ Rendimientos constantes a escala	$k_0 < 0$ Rendimientos decrecientes a escala
--	--	--

*Cuadro 2. Rendimientos a escala*

El modelo utilizado en el presente trabajo fue el de rendimientos variables a escala (BCC) orientación output seleccionándose las variables de entrada: Activo Corriente y Bienes de Uso y una variable de salida: Resultado Total.

La aplicación del DEA presenta una serie de cuestiones relativas a la homogeneidad de las DMU, las variables usadas como entrada / salida utilizando la medición de las mismas y los pesos que se les atribuye en el análisis. Cada uno de estos problemas puede presentar dificultades prácticas en la aplicación del DEA. En este trabajo no existieron dificultades en torno a la homogeneidad en las DMU y en la medición de las variables, porque todas son monetarias y su unidad de medida es el peso.

Obviamente, la elección de las variables es un aspecto fundamental para que esta metodología brinde resultados adecuados, que reflejen el comportamiento de las unidades comparadas.

Dyson y otros (2001) señalan cuatro hipótesis que se deberían verificar con respecto al conjunto de inputs y outputs seleccionado:

- que cubran toda la gama de recursos utilizados,
- que capturen todos los niveles de actividad y medidas de rendimiento,
- que el conjunto de factores sean comunes a todas las unidades,
- las variaciones del entorno han sido evaluadas y consideradas, si es necesario.

No se incluyó en el modelo ninguna restricción a los pesos de las variables, ya que se ha preferido explotar la ventaja que ofrece el DEA en lo relativo a libertad de comportamiento de las unidades.

Un inconveniente que presenta el DEA es su capacidad para discriminar y por ende rankear o ponderar, ya que la misma disminuye cuando se trabaja con una *gran cantidad de variables*. Una regla que se sugiere aplicar para atenuar este efecto es que el número de unidades (DMU) sea superior al doble del producto del número de inputs por el número de outputs. Otro aspecto a realzar es que, a menudo, subconjuntos de los inputs y/o outputs están *altamente correlacionados*.

*Cantidad y correlación* son cuestiones que deben ser cuidadosamente consideradas a los efectos de no producir significativos cambios en el comportamiento de esta técnica y los resultados que con ella obtenemos.

Para disminuir la cantidad de variables y además buscar la menor correlación entre las mismas se utilizó el modelo de Análisis de las Componentes Principales (ACP). Este análisis estadístico permitió obtener un nuevo conjunto de variables denominadas componentes principales, que son combinaciones lineales de las originales y el orden o cardinal de ese conjunto resultó menor o igual que el del conjunto de variables originales, las que expresan estadísticamente el total de la información contenida en las variables originales.

Se consiguió así aumentar la capacidad de discriminación del análisis con DEA, por lo que la frontera eficiente se formó con un número menor de DMU, lo que indica que se ha reducido el margen de error, que consistiría en considerar eficientes unidades que en realidad son ineficientes.

La técnica de componentes principales o modelo ACP es debida a Hotelling (1933), aunque sus orígenes se encuentran en los ajustes ortogonales por mínimos cuadrados introducidos por K. Pearson (1901).

Existen dos formas básicas de aplicar el ACP:

1. Método basado en la matriz de correlación: cuando los datos no son dimensionalmente homogéneos o el orden de magnitud de las variables aleatorias medidas no es el mismo.
2. Método basado en la matriz de covarianzas: se usa cuando los datos son dimensionalmente homogéneos y presentan valores medios similares.

En este trabajo utilizaremos el *método basado en correlaciones*.

Sea una matriz de datos  $n \times p$

$$X = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \vdots & X_{np} \end{pmatrix} :$$

A partir de los  $n \times p$  datos correspondientes a las “ $n$ ” variables aleatorias, puede construirse la matriz de correlación muestral, que viene definida por:

$$R = [r_{ij}] \in P_{p \times p} \text{ donde } r_{ij} = \frac{\text{cov}(X_i, X_j)}{\sqrt{\text{var}(X_i)\text{var}(X_j)}}$$

Donde

$$\text{Var}(X_j) = E(X_j - \mu_j)^2 \text{ para } j=1,2,\dots,p$$

(La esperanza o media del cuadrado de la desviación de dicha variable con respecto a su media  $\mu$ ).

$$\text{Cov}(X_i, X_j) = E[(X_i - \mu_i)(X_j - \mu_j)] \text{ para } i \neq j=1,2,\dots,p$$

(Mide el valor esperado del producto de las desviaciones con respecto a la media  $\mu$ ).

Puesto que la matriz de correlaciones es simétrica entonces resulta diagonalizable (es posible encontrar sus vectores y valores propios) y sus valores propios  $\lambda_i$  verifican:

$$\sum_{i=1}^p \lambda_i = 1$$

Debido a la propiedad anterior estos “p” valores propios reciben el nombre de pesos de cada uno de los n componentes principales.

En álgebra lineal, los vectores propios, autovectores o eigenvectores de un operador lineal son los vectores no nulos que, cuando son transformados por el operador, dan lugar a un múltiplo escalar de sí mismos, con lo que no cambian su dirección. Este escalar  $\lambda$  recibe el nombre valor propio, autovalor, valor característico o eigenvalor.

Como se indicó en la metodología de trabajo se procede según lo señalado en 3) a la aplicación del ACP (Análisis de Componentes Principales) sobre el conjunto de inputs: Activo Corriente, Activo No Corriente, Pasivo Corriente y Pasivo No Corriente.

Se describirán las tablas incorporadas a continuación, las que muestran los análisis realizados.

La Tabla 1 contiene los Inputs utilizados para todos los ejercicios considerados.

Los datos se procesaron a través del software estadístico *Statgraphics Plus 5.1*.

**Inputs originales considerados para el trabajo**

	<b>(I)ACTIVO CTE</b>	<b>(I)ACTIVO NO CTE</b>	<b>(I)PASIVO CTE</b>	<b>(I)PASIVO NO CTE</b>
1999	149249,89	102223,47	163992,35	0
2000	154740,25	130362,46	146530,58	0
2001	132848,44	127850,13	169351,99	0
2002	86614	227392,17	93269,63	23861,42
2003	152256,86	213838,28	81296,79	41039,55
2004	150861,44	211353,38	59131,49	20699,86
2005	231094,4	267672,43	99301,39	52687,64
2006	581209,63	234715	279535,62	31940,44
2007	741629,49	408721,92	421053,44	8875,59
2008	1085585,89	418481,24	537722,3	0
2009	1739425,01	631342,96	975610,92	0
2010	2446378,21	825647,3	1650158,81	29366,47
2011	3577918,85	1044615,7	2605647,67	133183,85

Tabla 1

La Tabla 2 que figura a continuación contiene el resultado del Análisis de Correlación y el proceso de Componentes Principales, aplicado a los datos de la Tabla 1.

<b>Correlaciones</b>				
	ACTIVO CTE	ACTIVO NO CTE	PASIVO CTE	PASIVO NO CTE
ACTIVO CTE		0,9831	0,9900	0,6268
		(13)	(13)	(13)
		0,0000	0,0000	0,0219
ACTIVO NO CTE	0,9831		0,9642	0,6213
	(13)		(13)	(13)
	0,0000		0,0000	0,0234
PASIVO CTE	0,9900	0,9642		0,6781
	(13)	(13)		(13)
	0,0000	0,0000		0,0108
PASIVO NO CTE	0,6268	0,6213	0,6781	
	(13)	(13)	(13)	
	0,0219	0,0234	0,0108	

Tabla 2

En la primera fila de cada uno de los inputs se indica la correlación correspondiente a las variables implicadas, en la segunda fila el número de DMU de la tabla 1 utilizadas para el análisis y en la tercera fila el grado de significación, el que debe ser menor de 0,05 para considerar correcta la aplicación de ACP. A mayor correlación, menor grado de significación, es decir que las variables al poseer una alta correlación se pueden explicar por factores comunes (componentes principales).

### **Análisis de Componentes Principales**

Componente		Porcentaje de	Porcentaje
Número	Autovalor	Varianza	Acumulado
1	1,85635E12	99,357	99,357
2	9,34804E9	0,500	99,857
3	2,16392E9	0,116	99,973
4	5,1047E8	0,027	100,000

Tabla 3

El porcentaje de Varianza indica la cantidad de información suministrada por las trece DMU que explican cada una de las componentes. Se aprecia en la Tabla 3 que la primera componente tiene una significativa representación de los cuatro inputs, ya que su valor es de 99,357.

En el Gráfico 1 se visualiza lo expresado anteriormente.

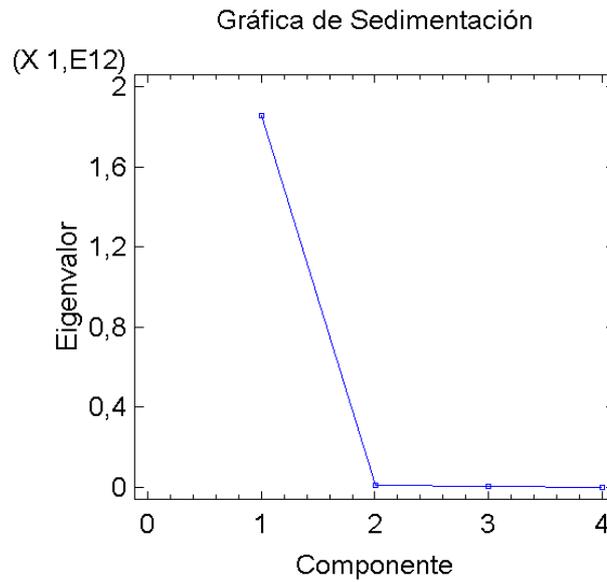


Gráfico 1

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos de las ecuaciones que se resuelven para obtener las componentes principales.

**Tabla de Pesos de los Componentes**

	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
ACTIVO CTE	0,801842	-0,44333	-0,371367	0,150315
ACTIVO NO CTE	0,210021	-0,409807	0,868573	-0,183112
PASIVO CTE	0,559141	0,785455	0,198186	-0,176475
PASIVO NO CTE	0,0173783	0,136294	0,261515	0,95537

Tabla 4

Denominaremos a las nuevas variables  $z_{ij}$ , con  $i=1\dots m$  y  $j=1,\dots,n$ . Como dijimos anteriormente, éstas son combinaciones lineales de las  $n$  variables originales  $X_i$  con  $i=1 \dots, n$ . En la búsqueda de las componentes principales pueden obtenerse  $(p^2)$  constantes tales que:

$$Z_{ixj} = \sum_{q=1}^p x_{iq} a_{qj}, \begin{cases} i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, n \end{cases}$$

O lo podemos ver como:

$$Z_{13 \times 4} = X_{13 \times 4} \cdot A_{4 \times 4}$$

donde por ejemplo:

$$z_{1j} = X_{1xq} \cdot A_{qxj} \text{ con } q = 1 \dots 4 \text{ y } j = 1 \dots 4$$

$a_{qj}$  es cada una de esas constantes.

Obsérvese que debido a la suma, en cada nueva variable  $z_{ij}$  intervienen todos los valores de las variables originales. El valor expresado por  $a_{qj}$  indica el peso que cada variable original aporta a la nueva variable definida por la transformación lineal como se muestra en la tabla 4.

Para la primera componente principal la transformación viene dada por:

$$Z_1 = \text{Act. Cte (1999)} * 0,801842 + \text{Act. No Cte (1999)} * 0,210021 + \text{Pas. Cte (1999)} * 0,559141 + \text{Pas. No Cte (1999)} * 0,0173783$$

$$Z_1 = 149249,89 * 0,801842 + 102223,47 * 0,210021 + 163992,35 * 0,559141 + 0 * 0,0173783$$

A partir de esta formulación, se obtiene la transformación del sistema de representación de los cuatro Inputs en las cuatro componentes obtenidas. Podemos aquí elegir con cuántas de ellas vamos a trabajar ya que están ordenadas en función de su importancia, importancia que se establece para las componentes según que expliquen suficientemente al conjunto de datos original.

En la siguiente Tabla se visualizan los resultados obtenidos por la transformación del sistema de representación:

**Tabla de Componentes Principales**

Fila	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
1	232839	20749,8	65863,1	-25224,4
2	233387	-6931,25	84804,2	-26470,1
3	228066	21728,8	95274,9	-33328,1
4	169773	-55074,2	190066,	-22282,1
5	213166	-85684,1	156035	8591,23
6	198778	-104229	144683	-6683,82
7	297957	126967	180131	18534,9
8	672188	-129940	51778,1	25569,4
9	916092	-164355	165356	-29189,6
10	1259020	230413	66899,9	-8343,38
11	2072840	-263570	95755,1	-26315,3
12	3058190	-122781	143349	-46613,8
13	4547560	50482	129837	13942,5

Tabla 5

En la siguiente tabla se presenta la matriz de correlaciones obtenidas a través del Statgraphic:

<b>Matriz de correlaciones</b>				
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
CP 1	1			
CP 2	-4,15E-08	1		
CP 3	-5,60E-07	2,32E-06	1	
CP 4	9,36E-07	1,22E-07	1,21E-06	1

Tabla 6

Como condición necesaria para continuar con el análisis en la matriz de correlación de los datos transformados, éstos no deben estar correlacionados, lo que indica que no existen más factores comunes subyacentes que puedan explicar el total de la información.

Para el análisis que se realizó se tomaron las componentes 1 y 2 siguiendo el criterio del gráfico de sedimentación dado que la recta que representa los autovalores se quiebra desde la segunda componente. La elección también responde a una elección personal del equipo de investigación.

Luego de seleccionadas las componentes principales como se muestra en la tabla 7, se realizó sobre ese nuevo conjunto de variables la modelización DEA- BCC orientado a los outputs con el software *Frontier Analyst*.

	(I)CP 1	(I)CP 2	(O)Resultado Total
1999	232839,00	20749,80	36481,01
2000	233387,00	-6931,25	86112,89
2001	228066,00	21728,80	31442,43
2002	169773,00	-55074,20	60624,71
2003	213166,00	-85684,10	56195,00
2004	198778,00	-104229,00	91950,34
2005	297957,00	126967,00	87356,31
2006	672188,00	-129940,00	243083,80
2007	916092,00	-164355,00	356973,81
2008	1259020,00	230413,00	301548,62
2009	2072840,00	-263570,00	544920,32
2010	3058190,00	-122781,00	333573,33
2011	4547560,00	50482,00	375214,47

Tabla 7

Los resultados hallados se reflejan en la siguiente tabla resumen:

Unit name	Score	Efficient	Condition
1999	34,9%		
2000	82,2%		
2001	30,6%		
2002	100,0%		
2003	57,8%		
2004	100,0%		
2005	67,9%		
2006	91,1%		
2007	100,0%		
2008	73,1%		
2009	100,0%		
2010	61,2%		
2011	68,9%		

Tabla 8

De la aplicación sucesiva de los dos modelos obtenemos los valores de eficiencia para las componentes principales surgidas de las originales.

A continuación según se expresa en la metodología de trabajo, se aplicó el DEA BCC orientado a los outputs sobre las variables de entrada (I) y salida (O) aconsejadas por el nivel superior de la empresa.

Los datos de las variables a utilizar se encuentran en la siguiente tabla:

DMU	Act Cte (I)	Bs uso (I)	Rtdo Total (O)
1999	149249,89	92512,47	36481,01
2000	154740,25	107295,85	86112,89
2001	132848,44	110130,28	31442,43
2002	86614,00	211563,62	60624,71
2003	152256,86	199897,63	56195,00
2004	150861,44	197412,73	91950,34
2005	231094,40	267672,43	87356,31
2006	581209,63	234715,00	243083,80
2007	741629,49	408721,92	356973,81
2008	1085585,89	418481,24	301548,62
2009	1739425,01	631342,96	544920,32
2010	2446378,21	825647,30	333573,33
2011	3577918,85	1044615,70	375214,47

Tabla 9

Utilizando los datos de la tabla anterior y aplicando el software Frontier Analyst se obtuvieron los siguientes resultados:

Unit name	Score	Efficient	Condition
1999	100,0%	✓	●
2000	100,0%	✓	●
2001	100,0%	✓	●
2002	100,0%	✓	●
2003	60,7%		●
2004	100,0%	✓	●
2005	68,3%		●
2006	100,0%	✓	●
2007	100,0%	✓	●
2008	79,1%		●
2009	100,0%	✓	●
2010	61,2%		●
2011	68,9%		●

Tabla 10

En el análisis de los 13 ejercicios contables de la E1, y siendo Resultado Total la variable de salida (output), se observan ocho períodos (1999, 2000, 2001, 2002, 2004, 2006, 2007 y 2009) con una eficiencia relativa del 100% (eficiencia igual a uno) para las tres variables.

Seguidamente se muestra la contrastación de los valores de eficiencia resultantes de la aplicación de los modelos ACP y DEA:

Unit name	Score	Efficient	Condition	Unit name	Score	Efficient	Condition
1999	34,9%		●	1999	100,0%	✓	●
2000	82,2%		●	2000	100,0%	✓	●
2001	30,6%		●	2001	100,0%	✓	●
2002	100,0%	✓	●	2002	100,0%	✓	●
2003	57,8%		●	2003	60,7%		●
2004	100,0%	✓	●	2004	100,0%	✓	●
2005	67,9%		●	2005	68,3%		●
2006	91,1%		●	2006	100,0%	✓	●
2007	100,0%	✓	●	2007	100,0%	✓	●
2008	73,1%		●	2008	79,1%		●
2009	100,0%	✓	●	2009	100,0%	✓	●
2010	61,2%		●	2010	61,2%		●
2011	68,9%		●	2011	68,9%		●

DEA-BCC SOBRE ACP

DEA-BCC SOBRE V. ORIG.

De esta contrastación surge la distribución de eficiencias que se observa en siguientes gráficos que se obtuvieron a través del *Analyst Frontier*.

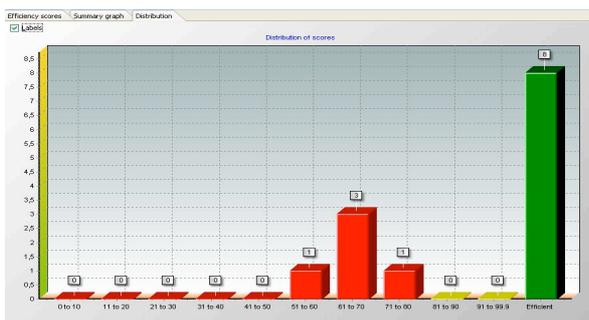


Gráfico 2-Dea sobre datos ACP

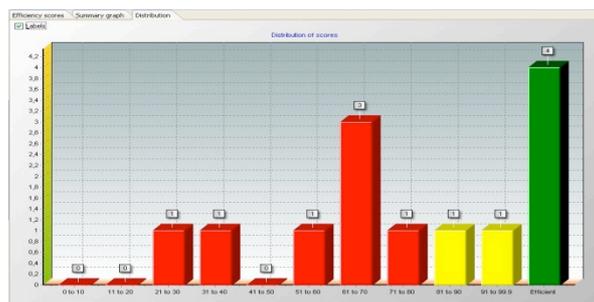


Gráfico 3-Dea sobre v. originales

En los siguientes gráficos podemos observar la distribución de los conjuntos de referencia que surgieron de la aplicación del DEA BCC sobre los datos:

### Frecuencia de Referencias

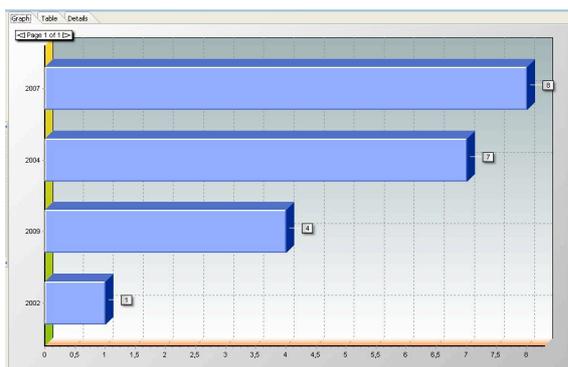


Gráfico 4-Dea sobre datos ACP

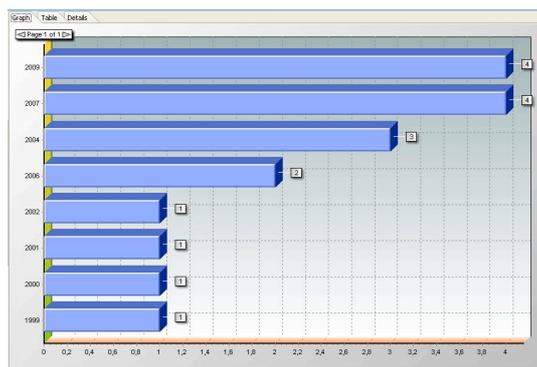


Gráfico 5-Dea sobre v. originales

Las DMU 2007 y 2004 aumentaron su participación como unidades de referencia de las unidades ineficientes mientras que las DMU 1999, 2000, 2001 y 2006 dejaron de ser referentes dado que ya no se las consideró como unidades eficientes.

### Conclusiones

En el contexto de la evaluación de la eficiencia es preciso destacar al método ACP como herramienta para distinguir las unidades verdaderamente eficientes y el efecto que éstas pueden tener al ser consideradas erróneamente como eficientes. Esto permitirá realizar una mejor planificación y distribución más eficiente de los recursos destinados a las mejoras necesarias para perfeccionar el funcionamiento de las diferentes unidades de producción.

Del análisis de los resultados alcanzados con los métodos aplicados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- ✓ Con las variables elegidas por los ejecutivos de la empresa se determinaron ocho unidades eficientes.
- ✓ Del análisis realizado con dos componentes se obtuvo una mayor discriminación en los resultados destacando como eficientes sólo cuatro DMU.
- ✓ A través de la aplicación del ACP se evitó considerar como unidades de referencia a aquellas que no son eficientes verdaderamente como las DMU 1999, 2000, 2001 y 2006.

- ✓ Mediante el modelo ACP los valores de eficiencia hallados son objetivos ya que a través de la aplicación del mismo se supera la elección arbitraria de los inputs y outputs realizada por los altos ejecutivos.

## BIBLIOGRAFÍA

- COLL SERRANO, V. y BLASCO BLASCO, O. M., *Evaluación de la Eficiencia Mediante el Análisis Envolvente de Datos. Introducción a los modelos básicos*, Editorial: Eumed.neCte, Málaga, España, 2006.
- COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M. y TONE, K., "DATA ENVELOPMENT ANALYSIS. A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software, Second Edition, Springer, USA, 2007.
- COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M. Y ZHU, J., *Handbook on Data Envelopment Analysis*, Kluwer Academic Publishers, USA, 2004.
- DEMING, E., *Calidad, Productividad y Competitividad*. Ediciones Díaz de Santos S. A., España, 1989.
- DYSON, R. G., ALLEN, R., CAMANHO, A. S., PODINOVSKI, V. V., SARRICO, C. S. AND SHALE, E.A., "Pitfalls and protocols in DEA", *European Journal of Operational Research*, 132 (2001), pp. 245-259.
- KAPLAN, R.; NORTON, D., *Mapas Estratégicos*, Ediciones Gestión 2000, USA, 2007.
- SEIFORD, LAWRENCE M., ZHU, J., "Modeling undesirable factors in efficiency evaluation", *European Journal of Operational Research*, 142 (2002), pp.16-20.
- SEIFORD, LAWRENCE M., ZHU, J. (2002), "Modeling undesirable factors in efficiency evaluation", *European Journal of Operational Research*, 142 (2002), pp. 16-20.