

USO DEL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE FOMENTO DE LA I+D+I

Rosario C. Barea¹, Esther Cabrera², José Luis Pino¹ y Francisco M. Solís²

¹Universidad de Sevilla

²Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa

El Análisis Envolvente de Datos (DEA), es un método no paramétrico, basado en la programación lineal, para medir la productividad y la eficiencia relativa de unidades de organizaciones como empresas, universidades, hospitales, etc., que utilizan múltiples recursos para producir múltiples productos. El objetivo fundamental del DEA es hallar una frontera de eficiencia, formada por aquellas combinaciones de recursos que optimizan la cantidad de productos obtenidos minimizando los costos de producción, y a partir de esta frontera, evaluar la eficiencia relativa de las combinaciones de recursos que no pertenezca a la misma. En este trabajo, se analiza la eficiencia técnica de los grupos de investigación del área científico-técnica de las Tecnologías de la Información y Comunicación de Andalucía.

El Análisis Envolvente de Datos

La Técnica DEA

Es una técnica de programación matemática que permite la construcción de una superficie envolvente, frontera eficiente o función de producción empírica a partir de los datos disponibles del conjunto de Unidades de Toma de Decisión (DMUs) objeto de estudio, de forma que las DMUs que determinan la envolvente son denominadas eficientes y aquellas que no permanecen sobre la misma son consideradas ineficientes, DEA permite la evaluación de la eficiencia relativa de cada una de las DMUs.

Caracterización de los Modelos DEA

Los modelos DEA pueden ser clasificados, básicamente, en función de:

- El tipo de medida de eficiencia que proporcionan: modelos radiales y no radiales.
- La orientación del modelo: Input orientado, Output orientado o Input-Output orientado.
- La tipología de los rendimientos a escala que caracterizan la tecnología de producción, entendida ésta como la forma (procedimientos técnicos) en que los factores productivos (Inputs) son combinados para obtener un conjunto de productos (Outputs), de tal forma que esa combinación de factores puede caracterizarse por la existencia de rendimientos a escala: constantes o variables a escala.

Orientación del modelo

Siguiendo a Charnes, Cooper y Rhodes (1981), la eficiencia puede ser caracterizada con relación a dos orientaciones básicas, pudiendo hacer referencia a dos tipos de modelos:

1. Input Orientado: Dado un nivel de Outputs, se busca la máxima reducción proporcional en el vector de Inputs.
2. Output Orientado: Dado el nivel de Inputs, se busca el máximo incremento proporcional de los Outputs.

Tipología de los rendimientos a escala

Los rendimientos a escala, indican los incrementos de la producción que son resultado del incremento de todos los factores de producción en el mismo porcentaje, pueden ser constantes, crecientes o decrecientes:

1. Rendimientos constantes a escala:

$$\text{Si } f(cX) = c^t f(X) \text{ con } t = 1$$

2. Rendimientos crecientes a escala:

$$\text{Si } f(cX) = c^t f(X) \text{ con } t > 1$$

3. Rendimientos decrecientes a escala:

$$\text{Si } f(cX) = c^t f(X) \text{ con } t < 1$$

donde $f(X)$ es la tecnología de producción, X es un vector de Inputs y c un escalar.

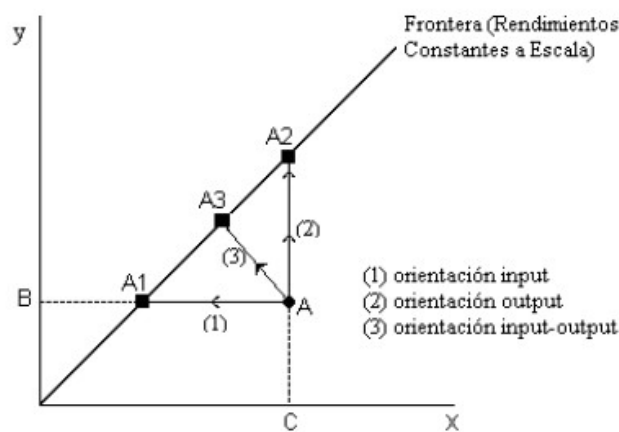


Figura 1. Tipos de orientaciones

Clasificación de los modelos DEA

Modelos DEA-CCR

El modelo DEA-CCR (Charnes, A., Cooper, W. W. y Rhodes, E. (1979)) proporciona medidas de eficiencias radiales, Input u Output orientadas y supone convexidad, fuerte eliminación gratuita de Inputs y Outputs y rendimientos constantes a escala.

Modelo DEA-CCR Input Orientado en Forma Envolvente

$$\begin{aligned} & \text{Min}_{\theta, \lambda} \quad z_0 = \theta \\ & \text{sa:} \\ & \quad Y\lambda \geq y_0 \\ & \quad \theta x_0 \geq X\lambda \\ & \quad \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

Donde λ es el vector ($n \times 1$) de pesos o intensidades, así λ_j es la intensidad de la DMU j , y θ denota la puntuación de eficiencia (técnica) de la DMU evaluada. La eficiencia quedaría caracterizada de la siguiente forma:

Si $\theta^* = 1$ y todas sus holguras son cero, la DMU será eficiente.

Si $\theta < 1$ ó $\theta^* = 1$ y alguna de sus holguras son distinta de cero, la DMU será ineficiente.

Modelo DEA-CCR Output Orientado en Forma Envolvente

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{\varphi, \lambda} \quad z_0 = \varphi \\ & \text{sa:} \\ & \quad \varphi y_0 \geq Y\lambda \\ & \quad X\lambda \geq x_0 \\ & \quad \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

La eficiencia técnica output de la DMU evaluada será $\frac{1}{\varphi^*}$.

Modelos DEA-BCC

El modelo DEA-BCC (Banker, R.D., Charnes, A. y Cooper, W.W. (1984)) no es más que una extensión del modelo DEA-CCR, mientras que el DEA-CCR considera rendimientos constantes a escala, el DEA-BCC permite que la tipología de rendimiento a escala sea variable.

Modelo DEA-BCC Input Orientado en Forma Envolvente

$$\begin{aligned} & \text{Min}_{\theta, \lambda} \quad z_0 = \theta \\ & \text{sa:} \\ & \quad Y\lambda \geq y_0 \\ & \quad \theta x_0 \geq X\lambda \\ & \quad \bar{1}\lambda \geq 1 \\ & \quad \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

Modelo DEA-BCC Output Orientado en Forma Envolvente

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{\varphi, \lambda} \quad z_0 = \varphi \\ & \text{sa:} \\ & \quad \varphi y_0 \geq Y\lambda \\ & \quad X\lambda \geq x_0 \\ & \quad \bar{1}\lambda \geq 1 \\ & \quad \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

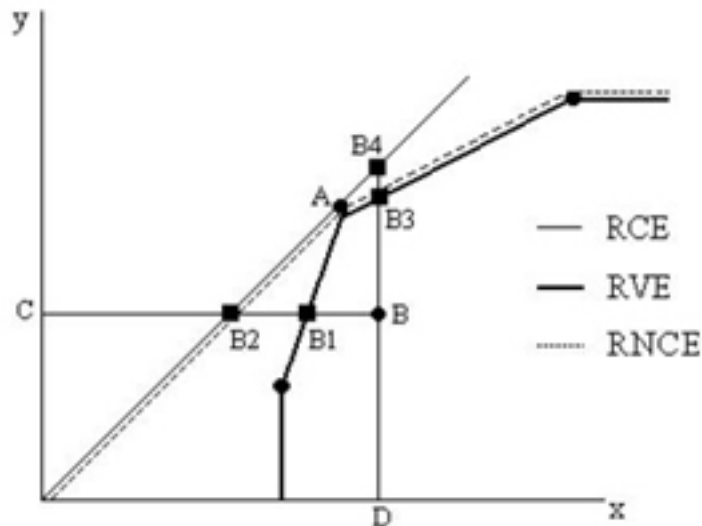


Figura 2. Tipología de rendimientos a escala

Aplicación

Objetivos

Analizar la eficiencia técnica de los grupos de investigación del área científico-técnica de las Tecnologías de la Información y Comunicación.

Unidades Seleccionadas

La selección de las DMUs que van a formar parte de una investigación DEA debe estar íntimamente relacionado con las características del estudio que se va a desarrollar, para lo cual hay que tener en cuenta el objeto de la investigación. Además se requiere que las DMUs seleccionadas cumplan un conjunto de condiciones necesarias para el buen funcionamiento de esta, concretamente Torrico (2000) habla de tres condiciones:

1. Las DMUs deben ser lo suficientemente homogéneas para que se puedan comparar pero suficientemente heterogéneas para que se pueda extraer alguna información de esa comparación.
2. Deben tener responsabilidad en la gestión de los recursos para la producción, lo que implica capacidad para gestionar los recursos de que disponen.
3. Deben constituir un grupo suficientemente amplio para no limitar la capacidad discriminadora del análisis, condición que se encuentra relacionada con la dimensión del modelo.

Una vez analizadas las condiciones necesarias para una buena selección de unidades, en esta investigación las unidades seleccionadas corresponderán con cada uno de los grupos de investigación del área científico-técnica de la Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones (TIC), en total 86 grupos de investigación.

Dimensión del modelo

Para seleccionar tanto las unidades como las variables del análisis, nos encontramos en disposición de clarificar la dimensión del modelo para determinar si alcanza una dimensión suficiente o no.

La determinación de la suficiencia de dimensión se puede hacer a través de algunas reglas existentes para ello, como son:

- Golany y Roll (1989):
 $n \geq 2 \times (p+q)$
- Charnes et al. (1990):
 $n \geq 3 \times (p+q)$
- Murias (2004):
 $n \geq p \times q$

En esta investigación, el análisis es referido a 86 unidades (grupos de investigación) y 8 variables (3 inputs y 5 outputs), por lo tanto, se cumplen todas las reglas sugeridas en relación a la dimensión suficiente del modelo.

- Golany y Roll (1989):
 $86 \geq 2 \times (3+5)$
- Charnes et al. (1990):
 $86 \geq 3 \times (3+5)$
- Murias (2004):
 $86 \geq 3 \times 5$

Selección de las variables

La selección de indicadores tanto de entradas como de salidas (inputs/outputs) en el sector público y referente a actividades relacionadas con los servicios, implica no solo establecer la relación recursos-productos, sino también determinar indicadores capaces de representar de forma adecuada la actividad realizada (Pina y Torres, 1995, Murias, 2004).

Como primera tarea para seleccionar las variables de la investigación estaría la creación de un listado, lo más exhaustivo posible, que recoja todas las variables que puedan influir en la actividad de las unidades de decisión, ya sea por el lado de las entradas o de las salidas (Golany y Roll (1989)).

Para la correcta selección de las variables, se considera indispensable contar con el juicio de expertos en la actividad, muy especialmente cuando el análisis de la eficiencia pretende realizarse desde fuera de la organización objeto de estudio (Golany y Roll, 1989; Bowlin, 1998).

Para la selección de las variables y del papel que desempeñan, es preciso disponer de un marco teórico de los objetivos de los programas de fomento de la investigación científica, el desarrollo y la innovación.

En nuestro caso asumimos que las políticas que desarrolla la Junta de Andalucía tienen como objetivo básico impulsar la capacidad de los grupos de I+D+i andaluces en la captación de recursos dentro

de los programas nacionales e internacionales, de ahí que se considere Inputs las subvenciones autonómicas y Outputs los recursos económicos obtenidos de fuentes ajenas a la Comunidad Autónoma.

Dada la heterogeneidad de los contratos con empresas y la dificultad de disponer de datos para algunos grupos se ha optado por incluir los fondos procedentes de instituciones públicas que tiene un carácter competitivo.

La última de las tareas que debe realizarse antes de proceder a la elección definitiva de las variables, tiene que ver con la recomendación realizada por Golany y Roll (1989) y Pedraja-Chaparro et al. (1999), referente a la realización previa de un análisis de correlaciones entre las variables.

Tabla 1. Relación de Inputs y Outputs seleccionados

INPUTS
Resto de Personal de I+D
Nº de Doctores Activos
Subvenciones recibidas por los grupos de investigación
OUTPUTS
Ingresos por proyectos de financiación pública
Publicación en revistas ISI
Nº de tesis total
Total otros proyectos
Nº de contratos total

Rendimientos de Escala

Llegados a este punto, se requiere definir si se optará por la utilización de un modelo DEA-CCR, o un modelo DEA-BCC.

El presente estudio seguirá la hipótesis de rendimientos a escala constante (DEA-CCR), para los análisis de eficiencia que se lleven a cabo.

Orientación del modelo

Centrando la atención en los inputs seleccionados, los grupos no poseen pleno poder para contratar al personal que deseen cuando lo necesitan. En este sentido la orientación output sería la más recomendable pues unos resultados que indiquen la reducción de las entradas no serían lógicos, al no poder modificar unos recursos que no se controlan.

Se estudiará la eficiencia de los grupos de investigación por la vía de las salidas (outputs). Esto es mediante la maximización de los resultados.

Análisis de los resultados

Una vez ejecutado el modelo DEA, se obtienen una serie de resultados que deben ser analizados. En este sentido el análisis comportará un estudio de los límites, características y posibles soluciones del problema que surge ante las diferencias de eficiencia que aparecen entre los grupos de investigación dentro del área científico-técnica de las TIC.

Como muestra la figura 3, en la distribución de los resultados se refleja la existencia de 19 unidades 100% eficientes y 31 unidades cuyo grado de eficiencia varía entre el 60% y el 99 %. No obstante, existen 36 grupos de investigación muy ineficientes, no llegando ni casi a un 60 %.

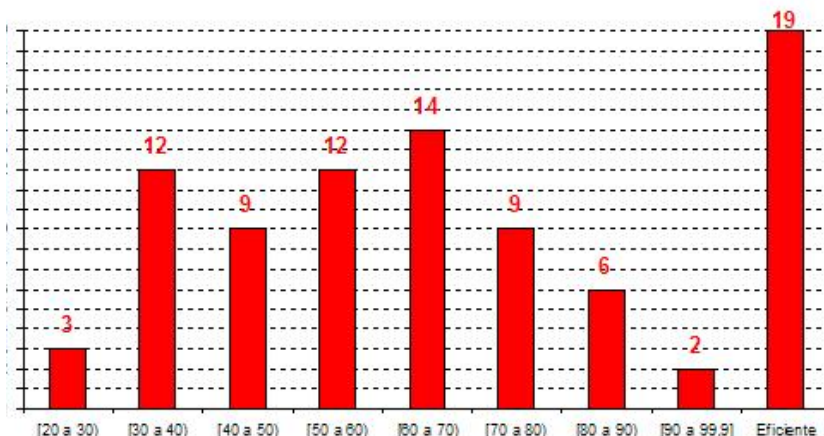


Figura 3. Distribución de los resultados

Según la técnica DEA, las unidades eficientes han alcanzado el máximo desempeño para el conjunto de unidades comparadas, en cambio las unidades menos eficientes se encuentran ante la necesidad de llegar a un desempeño eficiente y por lo tanto deben alcanzar la frontera de eficiencia para ponerse al mismo nivel de eficiencia que las mejores unidades. Para ello necesitan llevar a cabo una serie de mejoras, deben modificar su gestión. En este caso, la orientación output implica que las mejoras que deben realizar los grupos de investigación se encaminen hacia la mejora de la productividad, producir más utilizando los mismos recursos disponibles.

El grado de eficiencia que obtiene como resultado una unidad no eficiente se encuentra en función de las unidades que muestren mejor desempeño y además dispongan de unos recursos similares para la obtención de resultados. En este sentido el DEA crea grupos de referencia, cada unidad no eficiente es comparada con un grupo de unidades con semejantes recursos pero con un desempeño eficiente. Puede darse el caso de que una unidad 100% eficiente forme parte del grupo de referencia de más de una unidad ineficiente.

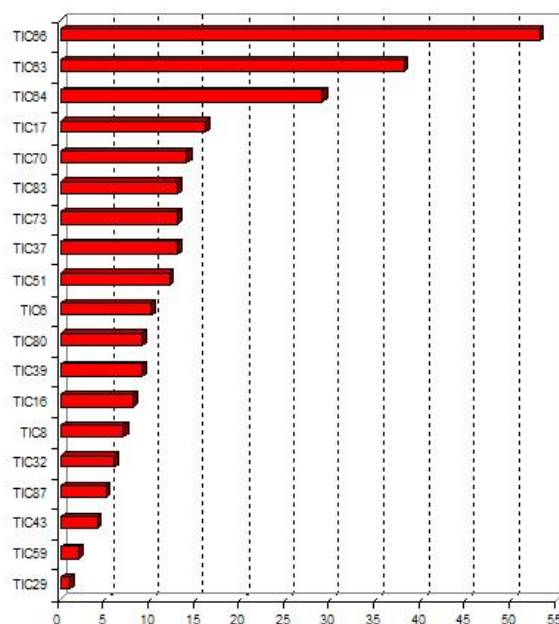


Figura 4. Frecuencia de grupos de referencia

Se observa que el grupo de investigación TIC66 sería el líder global.

El análisis de eficiencia no debe acabar en ese punto, sino que necesita ir un poco más allá y enseñar qué deberían hacer las unidades menos eficientes para alcanzar la frontera de eficiencia y así llegar a ser unidades 100% eficientes, es decir, mostrar cuáles son las mejoras potenciales que deben desarrollarse entre los grupos de investigación menos eficientes.

De forma ilustrativa se mostrará la mejora potencial de la unidad TIC45.

Lo primero que se debe de obtener es el conjunto de referencia de TIC45 (Tabla 2).

Tabla 2. Conjunto de referencia

Unidad	Valor de λ
TIC39	0,78904
TIC66	0,542262
TIC70	0,013008
TIC83	0,249909

Esta tabla significa que, para que la unidad que estamos evaluando llegue a ser eficiente, se debe guiar de las unidades TIC39, TIC66, TIC70 y TIC83.

Una vez que se tiene el conjunto de referencia el siguiente paso es determinar los valores objetivos, es decir, los valores que las variables deben tomar para llegar a ser eficientes, y por consiguiente el plan de mejora (Tabla 3).

Tabla 3. Valores observados, objetivos y mejora potencial de la unidad evaluada

Input/ Output	Valor Observado	Valor Objetivo	Mejora Potencial
x1	0	0	0
x2	5	5	0
x3	5,109	5,109	0
y1	559,607	581,242	21,635
y2	3	10	7
y3	1	1	0
y4	2	5	3
y5	17	18	1

Conclusión

Los resultados muestran como la mayoría de los grupos de investigación presentan niveles de eficiencias medios, existiendo un total de 19 grupos de investigación 100% eficientes. Se ha obtenido cual ha sido el grupo de investigación que lidera, y por último, y de forma ilustrativa, se ha creado el plan de producción que debería seguir un grupo de investigación ineficiente para llegar a ser eficiente, guiándose de las DMUs eficientes.

Referencias

- Banker, R.D., Charnes, A. y Cooper, W.W. (1984): "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis". *Management Science* 30(9): 1078-1092.
- Bowlin, W. F. (1998), "Measuring performance: an introduction to data envelopment analysis", *Journal of Cost Analysis, Autumn 98*, pp. 3-24.
- Charnes, A.; Cooper, W.W. y Rhodes, E. (1981): "Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through". *Management Science*, 27(6): 668-697.
- Golany, R. y Roll, Y. (1989). "An application procedure for DEA", *Omega, International Journal of Management Science*, 17, 3, pp. 237-250.
- Murias Fernández, M.P. (2004). "Metodología de aplicación del análisis envolvente de datos; evaluación de la eficiencia técnica en la universidad de Santiago de Compostela", Ph. D. dissertation, Santiago de Compostela University.
- Nunamaker, T.R. (1985). "Using Data Envelopment analysis to measure the Efficiency of Nos-profit Organizations: a Critical Evaluation", *Managerial an Decision Economics*, 6,1.
- Pedraja Chaparro, F., Salinas Jimenez, J. y Smith, P. (1999). "On the quality of the data envelopment analysis model", *Journal of Operacional Research Society*, 50, pp. 634-644.
- Pina, V. y Torres, L. (1995). "Evaluación del rendimientos de los departamentos de contabilidad de las universidades españolas", *Hacienda Pública Española*, 135, pp. 183-190.
- Torrico, A. (2000). *Técnicas cuantitativas para un análisis macroeconómico de la eficiencia y la financiación dentro de un sistema público de educación superior. Una aplicación para la toma de decisiones en la Universidad de Málaga*. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.