

Factores de éxito de los alumnos de primer curso en los grados de ingeniería. Propuestas para la mejora del rendimiento académico

Success factors for first-year students in engineering degrees. Proposals for improving the academic performance

Fernando Núñez¹, Ángel Arcos-Vargas¹ y Carlos Usabiaga²

¹ Universidad de Sevilla (España)

² Universidad Pablo de Olavide (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8924>

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de modernización de la educación superior europea, siguiendo la estrategia de la Comisión Europea "Educación y Formación 2020" (Unión Europea, 2010), establece una serie de prioridades, entre las que se encuentra la mejora de la calidad y la idoneidad de la enseñanza. Los programas educativos han de modernizarse, a través de métodos docentes flexibles e innovadores, con el fin último de formar a titulados con competencias que se adecúen a la demanda actual de trabajo cualificado. Una manera de mejorar la calidad de la enseñanza consiste en lograr un seguimiento más individualizado del proceso de aprendizaje de cada alumno, permitiendo esto "personalizar" la identificación de posibles problemas de aprendizaje y contribuir a la solución de dichos problemas.

El presente trabajo propone una metodología empírica que permite analizar, de forma individualizada, el proceso de aprendizaje de los alumnos universitarios. Para ello, partiremos de una muestra de alumnos de grado de la Universidad de Sevilla. La idea que subyace en todo el análisis es que dicho proceso de aprendizaje puede ser visto como una tecnología de "producción", donde el alumno genera una *output*, por ejemplo la calificación obtenida en cada asignatura, a partir de una serie de recursos o *inputs*, entre los cuales se encuentran las horas de asistencia a clase y las horas de estudio fuera del aula. El objetivo de este trabajo no es tanto profundizar en cómo el alumno gestiona estos *inputs* en cada asignatura, sino

saber si ha sido relativamente eficiente en el uso de los mismos de acuerdo con su "producción" (calificación) obtenida.

Para el análisis de la eficiencia del estudiante por asignatura se han empleado dos técnicas: la metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA, en inglés) y la regresión lineal múltiple. La primera técnica consiste en una aproximación no paramétrica de programación lineal que permite medir la eficiencia relativa, en el desarrollo de una determinada tecnología, de un grupo de unidades de decisión¹ –en inglés *decision making units* o DMUs. Por su parte, la regresión lineal es una técnica de carácter paramétrico que permite estimar un modelo explicativo del comportamiento de una determinada variable endógena. En este estudio, usaremos el análisis DEA para calcular las eficiencias de los alumnos en las diferentes asignaturas observadas, y el análisis de regresión para tratar de explicar los factores determinantes de dichas eficiencias².

Nuestro trabajo se sitúa en los estudios universitarios, desde una perspectiva desagregada, en el primer curso, en varios grados de ingeniería, en una sola universidad (Universidad de Sevilla), y la eficiencia se mide desde tres perspectivas: estudiante, asignatura y asignatura-estudiante. En una segunda fase, se intenta explicar la calificación del estudiante y sus valores de eficiencia con base en una rica batería de potenciales factores explicativos, de distinta naturaleza (académicos, socioeconómicos, etc.). Por tanto, a efectos com-

parativos, los trabajos más cercanos al nuestro son aquellos que toman al estudiante universitario como DMU, los cuales no son frecuentes, y menos para España, y menos aún para una rama científica determinada.

El resto del trabajo se estructura de la siguiente manera. La sección segunda comenta las técnicas seleccionadas para desarrollar el análisis de la eficiencia del estudiante. En la sección tercera se describe la muestra de datos obtenida a partir de la encuesta realizada, mientras que en la sección cuarta se exponen los principales resultados de nuestro análisis de eficiencia. Finalmente, la sección quinta recoge las principales conclusiones del trabajo y aporta una serie de recomendaciones a la comunidad universitaria.

2. METODOLOGÍA

Para analizar el rendimiento del estudiante se han empleado dos técnicas de forma secuencial: en una primera etapa, se emplea la metodología DEA para determinar el grado de eficiencia mostrado por el estudiante en el uso de sus dos recursos fundamentales (para obtener una buena calificación): las horas de estudio fuera del aula y las horas de asistencia a clase. En una segunda etapa, se trata de explicar mediante regresión múltiple tanto la calificación obtenida por el alumno como su grado relativo de eficiencia.

El modelo DEA que se propone en este trabajo va a tener carácter radial y va a estar orientado hacia salida (*output*)³. Trabajaremos con las hipótesis de rendimientos a escala constantes (CRS) y variables (VRS). Los modelos CRS-*Output* y VRS-*Output* son los siguientes:

$$\text{Max } \beta_j + \varepsilon (\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^-)$$

sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n \alpha_j x_{ij} = x_{ij} - h_i^-$$

$$\sum_{j=1}^n \alpha_j y_{kj} = \beta_j y_{kj} + h_k^+$$

$$\sum_{j=1}^n \alpha_j = 1 \quad (\text{restricción adicional en el caso del modelo VRS})$$

$$\alpha_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0$$

$$\beta_j \text{ libre}$$

¹ Algunos trabajos que aplican el análisis DEA a estudiantes universitarios son Hashimoto (1996) –Japón–, Jourdady y Ris (2005) –8 países europeos–, Johnes (2006) –Reino Unido–, Montoneri et al. (2012) –Taiwan–, Xiong (2015) –China– y Fuentes et al. (2016) –España.

² Otra técnica empleada en el campo del estudio del rendimiento estudiantil es la de redes Bayesianas –en este sentido, véase por ejemplo el trabajo de Gonzalo et al. (2017).

³ Sobre la metodología de los modelos DEA, véanse los trabajos de Charnes et al. (1978), Banker et al. (1984), Banker y Morey (1986) y Cooper et al. (2011).

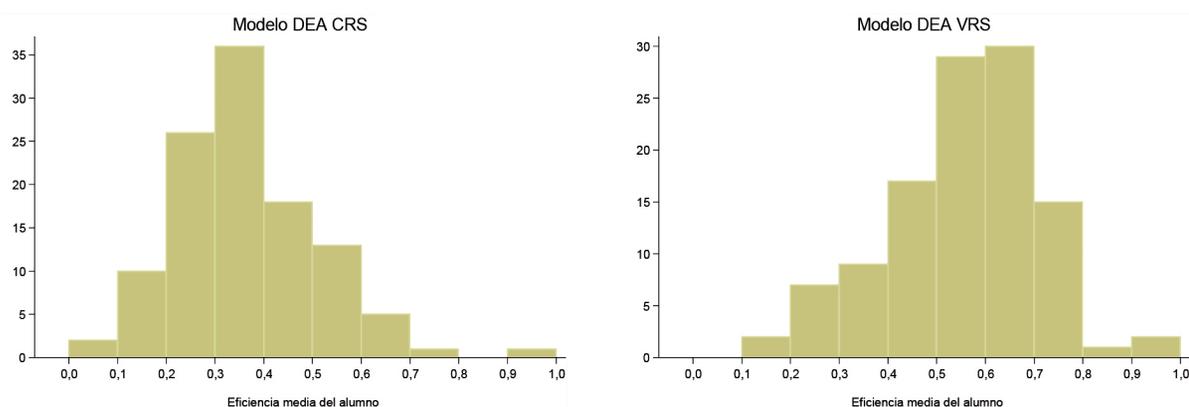


Figura 1. Histogramas de las eficiencias medias de los alumnos. Modelo CRS vs. VRS

donde:

y_{kj} : salida k -ésima de la unidad j -ésima
 $k=1, \dots, s$ y $j=1, \dots, J, \dots, n$

x_{ij} : entrada i -ésima de la unidad j -ésima
 $i=1, \dots, m$ y $j=1, \dots, J, \dots, n$

h_r^-, h_k^+ : variables de holgura de las entradas y las salidas respectivamente.

γ_j : ampliación radial que debe producirse en las salidas de la unidad analizada "J" para proyectarse en la frontera eficiente.

ε : representa un número real pequeño positivo que facilita la convergencia de los algoritmos de programación lineal.

En una segunda etapa, nuestro análisis procede a la estimación de modelos (paramétricos) de regresión lineal múltiple, modelos que emplean como variables endógenas la calificación final del alumno en cada asignatura cursada o su eficiencia (CRS o VRS) en dicha asignatura; las ecuaciones estimadas y sus características se comentarán en la sección de resultados (sección 4).

3. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

La obtención de los datos se ha basado en una encuesta realizada a 112 alumnos de primer curso pertenecientes a cuatro grados de ingeniería de la Universidad de Sevilla: Tecnologías Industriales, Aeroespacial, Civil y Química. La muestra se compone de un total de 505 observaciones, correspondientes a las calificaciones obtenidas por los estudiantes en las asignaturas del primer cuatrimestre en las que se han evaluado, que son en todos los grados: Empresa, Expresión gráfica, Física I, Informática, Matemáticas I y Matemáticas II –cada alumno ha promediado 4,5 exámenes. En todos los grados el número de alumnos encuestados representa en torno al 20% del total de alumnos matriculados, salvo en el caso del Grado en

Ingeniería Química, donde este porcentaje es del 12,5%. Por tanto, entendemos que el tamaño muestral es lo suficientemente grande como para garantizar la representatividad de los resultados obtenidos.

La participación de los alumnos en la realización de la encuesta ha sido voluntaria –accediendo a ella a través de su espacio de enseñanza virtual. Asimismo, el hecho de que se hayan rellenado las encuestas durante la semana inmediatamente anterior a la de la realización de los exámenes justifica que no se hayan producido sesgos de selección importantes.

Las preguntas del cuestionario hacen referencia al rendimiento del alumno en el primer cuatrimestre del curso 2015/2016. La información del cuestionario se estructura en 4 bloques: características personales del alumno, características académicas generales previas al ingreso en la universidad, características académicas generales en el primer cuatrimestre universitario, y características académicas por asignatura del primer cuatrimestre. La única información no aportada directamente por el alumno es la correspondiente a las notas obtenidas en las diferentes asignaturas, la cual proviene de los registros administrativos de la Universidad de Sevilla. La estadística descriptiva de cada bloque puede consultarse en el material suplementario de este artículo.

4. RESULTADOS

ANÁLISIS DEA

A partir de la muestra obtenida, nuestro primer análisis ha consistido en resolver un modelo DEA que permita medir la eficiencia relativa de cada alumno en las diferentes asignaturas que ha cursado –cada asignatura ha dado lugar por separado a su propio modelo DEA. El modelo propuesto tiene orientación de salida y trata de medir si el alumno ha hecho un

uso eficiente de sus *inputs* "horas de estudio fuera de clase" y "horas de asistencia a clase" en su empeño de obtener la máxima calificación posible, que es el único *output* considerado en el modelo⁴.

Aunque hemos resuelto el modelo considerando tanto rendimientos constantes a escala (CRS) como rendimientos variables (VRS), entendemos que el mejor modelo para determinar el rendimiento del alumno es el que asume tecnología VRS, ya que permite comparar a alumnos con niveles de *inputs* parecidos –asimismo, se ha comprobado que la calificación final del alumno está más correlacionada con la eficiencia VRS (91%) que con la eficiencia CRS (50%). Una vez resuelto, nuestro modelo DEA permite realizar, al menos, tres tipos de análisis: a nivel de estudiante, a nivel de asignatura y a nivel de asignatura y estudiante.

La eficiencia media de cada alumno vendrá dada por la media aritmética de los niveles de eficiencia mostrados en las diferentes asignaturas a que ha hecho frente. Los histogramas de la Figura 1 representan las frecuencias de dichos valores medios agrupándolos en intervalos de tamaño 0,1, tanto en el modelo CRS como en el modelo VRS. En el modelo CRS la mediana de la distribución es del 35,5%, mientras que en el modelo VRS dicha mediana toma un valor superior, igual al 57,3%; ambos valores quedan relativamente lejos de la máxima eficiencia.

El análisis DEA permite también calcular la eficiencia media o estructural de cada asignatura, la cual vendrá dada por la media aritmética de los valores de efi-

⁴ Thanassoulis et al. (2002), analizando a estudiantes de secundaria en el Reino Unido, enfatizan la importancia del esfuerzo del propio estudiante por encima de la influencia que pueda ejercer el centro donde lleva a cabo su formación.

	Empresa	Expresión gráfica	Física I	Informática	Matemáticas I	Matemáticas II
Eficiencia global en el modelo CRS	22,8%	39,9%	40,2%	26,7%	40,8%	50,1%
Eficiencia global en el modelo VRS	63,3%	46,8%	60,8%	42,9%	61,8%	58,1%
Eficiencia global respecto a la nota máxima	60,7%	43,7%	56,5%	32,0%	53,8%	48,0%

Tabla 1. Eficiencia por asignatura

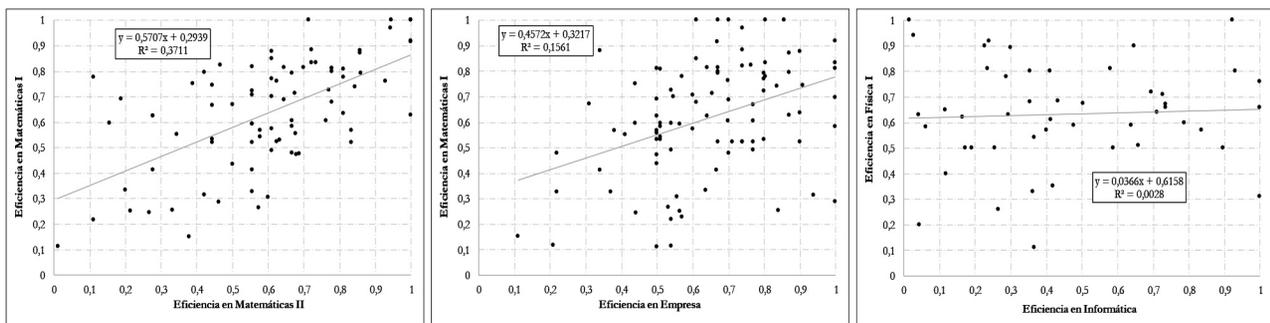


Figura 2. Comparación de la eficiencia individual en diferentes asignaturas. Modelo VRS

ciencia obtenidos por los diferentes alumnos de la asignatura. Análogamente, se puede obtener un indicador adicional de eficiencia global por asignatura, consistente en comparar las notas reales de los alumnos de una asignatura con la calificación máxima que podrían alcanzar (10). En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para estos indicadores.

La eficiencia de cada asignatura en el modelo CRS es relativamente reducida, porque el rendimiento de la clase se mide en referencia al mejor estudiante y eso puede llevar a proponer notas virtuales superiores a 10 para algunos alumnos; lo cual hace al modelo poco plausible. En el modelo VRS, donde no se observa el problema anterior (el modelo VRS compara entre sí a alumnos con niveles de entradas parecidos), las asignaturas con un mayor grado de eficiencia global han sido Empresa, Matemáticas I y Física I, las cuales muestran eficiencias superiores al 60%. Las eficiencias más bajas se observan en Informática (42,9%) y en Expresión gráfica (46,8%), ambas asignaturas de carácter anual. Si tomamos como referencia la calificación máxima de 10, Empresa sigue mostrando una eficiencia global superior al 60%, mientras que en el resto de asignaturas la eficiencia es algo menor, especialmente en Informática, donde los alumnos solo han conseguido un 32% de la máxima nota conjunta posible. Empresa, Expresión gráfica y Física I no muestran una excesiva diferencia entre sus respectivos indicadores, hecho que no se observa para el resto de asignaturas, donde

la frontera eficiente del modelo DEA-VRS parece estar más alejada de la "frontera" asociada a la máxima puntuación.

Los resultados a nivel de asignatura y alumno muestran que, en todas las asignaturas, más de un 80% de los alumnos mejora su grado de eficiencia al pasar del modelo CRS al modelo VRS. Por otra parte, el modelo permite relacionar las eficiencias individuales de cada alumno en las diferentes asignaturas que ha cursado. En concreto, los tres gráficos de la Figura 2 comparan respectivamente las eficiencias de Matemáticas I y Matemáticas II, asignaturas fuertemente relacionadas desde un punto de vista conceptual, Matemáticas I y Empresa, que muestran una relación intermedia –hay que tener en cuenta que el alumno ha de usar herramientas matemáticas en la asignatura de Empresa–, y Física I e Informática, cuya conexión se puede valorar a priori como relativamente más baja. Según nuestros resultados, un alumno eficiente en Matemáticas I también lo debería ser en Matemáticas II, siendo la relación también positiva, aunque algo más débil, entre las asignaturas de Matemáticas I y Empresa. Finalmente, las eficiencias de Física I e Informática no parecen guardar mucha relación. En general, se aprecia que la eficiencia de un estudiante puede cambiar dependiendo de la asignatura analizada, por lo que no se podría afirmar que se trate de un rasgo absoluto o idiosincrásico del alumno.

Como conclusión de este apartado, nos gustaría resaltar que el modelo VRS puede

constituir una herramienta valiosa para la identificación y captación de talento, ya que permite identificar alumnos eficientes en diversas disciplinas; además, al permitir conocer qué alumnos sobre la frontera pueden ser referencia para alumnos ineficientes que operan en un tramo de escala similar, esa información se podría utilizar con fines docentes, ya que permitiría generar por ejemplo "mesas de trabajo" (por asignatura) entre los alumnos ineficientes y sus referencias eficientes más cercanas⁵. Esto se observa por ejemplo en la Figura 3, donde, a modo de ejemplo, se ha rodeado con un círculo a un posible conjunto de alumnos que, por sus niveles relativamente similares de horas de estudio y de asistencia a la asignatura de Empresa, podrían compartir su experiencia para conseguir una mejora conjunta en el rendimiento; cada estudiante representa un punto (o combinación: horas de estudio, horas de asistencia y calificación final) y en cada punto aparece indicada la eficiencia DEA-VRS del alumno. Estas dinámicas de grupo deberían ser coordinadas por los docentes, los cuales podrían ofrecer algún tipo de incentivo o reconocimiento a los mejores estudiantes para que estuvieran dispuestos a participar en el proceso de mejora colectiva.

⁵ Algunos trabajos prestan atención al papel de los compañeros en el desempeño académico del estudiante –véanse, por ejemplo, Journay y Ris (2005) y De Jorge y Santín (2010). Esto podría encajar con nuestra idea de las "mesas de trabajo" o alumnos "tutores".

ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

En esta segunda parte del análisis se intenta explicar la calificación del alumno⁶ y sus valores de eficiencia (CRS y VRS) obtenidos mediante la estimación de sendos modelos de regresión, que consideran a cada alumno y asignatura como una ob-

servación muestral. Cada modelo incluye variables explicativas de las características (personales o de entorno) del alumno *i* y variables que se refieren a una determinada característica del alumno *i* para la asignatura *j*. Los modelos estimados son los siguientes:

Obsérvese que las variables horas de estudio (*est*), horas de asistencia a clase (*asist*) y nota de acceso a la universidad (*pau*) se expresan en nivel y al cuadrado para controlar la posible no linealidad existente en la relación entre dichas variables y la variable explicada. En España,

$$Nota_{ij} = \alpha_1 \cdot est_{ij} + \alpha_2 \cdot est_{ij}^2 + \alpha_3 \cdot asist_{ij} + \alpha_4 \cdot asist_{ij}^2 + \beta_1 \cdot repite_{ij} + \beta_2 \cdot academia_{ij} + \beta_3 \cdot ayuda_{ij} + \beta_4 \cdot antes_{ij} + \beta_5 \cdot pau_i + \beta_6 \cdot pau_i^2 + \beta_7 \cdot edad_i + \beta_8 \cdot reside_i + \beta_9 \cdot coe_i + \beta_{10} \cdot circ_i + \beta_{11} \cdot giti1_i + \dots + \beta_{14} \cdot giti4_i + \beta_{15} \cdot gia1_i + \beta_{16} \cdot gia2_i + \beta_{17} \cdot gic_i + \beta_{18} \cdot giq_i + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

$$Efic-CRS_{ij} = \beta_1 \cdot repite_{ij} + \beta_2 \cdot academia_{ij} + \beta_3 \cdot ayuda_{ij} + \beta_4 \cdot antes_{ij} + \beta_5 \cdot pau_i + \beta_6 \cdot pau_i^2 + \beta_7 \cdot edad_i + \beta_8 \cdot reside_i + \beta_9 \cdot coe_i + \beta_{10} \cdot circ_i + \beta_{11} \cdot giti1_i + \dots + \beta_{14} \cdot giti4_i + \beta_{15} \cdot gia1_i + \beta_{16} \cdot gia2_i + \beta_{17} \cdot gic_i + \beta_{18} \cdot giq_i + \epsilon_{ij} \quad (2)$$

$$Efic-VRS_{ij} = \beta_1 \cdot repite_{ij} + \beta_2 \cdot academia_{ij} + \beta_3 \cdot ayuda_{ij} + \beta_4 \cdot antes_{ij} + \beta_5 \cdot pau_i + \beta_6 \cdot pau_i^2 + \beta_7 \cdot edad_i + \beta_8 \cdot reside_i + \beta_9 \cdot coe_i + \beta_{10} \cdot circ_i + \beta_{11} \cdot giti1_i + \dots + \beta_{14} \cdot giti4_i + \beta_{15} \cdot gia1_i + \beta_{16} \cdot gia2_i + \beta_{17} \cdot gic_i + \beta_{18} \cdot giq_i + \epsilon_{ij} \quad (3)$$

donde:

Nota_{ij}: es la calificación de cada alumno *i* en cada asignatura *j*

Efic-CRS_{ij} y *Efic-VRS_{ij}*: son respectivamente las eficiencias CRS y VRS de cada alumno *i* en cada asignatura *j*

est_{ij}: horas de estudio empleadas por cada alumno *i* en cada asignatura *j* durante el primer cuatrimestre

est_{ij}²: horas de estudio al cuadrado

asist_{ij}: horas de asistencia de cada alumno *i* a cada asignatura *j* durante el primer cuatrimestre

asist_{ij}²: horas de asistencia al cuadrado

repite_{ij} (*dummy*): "1" si el alumno *i* es repetidor en la asignatura *j*, "0" si no lo es

academia_{ij} (*dummy*): "1" si el alumno *i* recibe clases de apoyo en la asignatura *j*, "0" si no las recibe

ayuda_{ij} (*dummy*): "1" si el alumno *i* recibe ayuda familiar en la asignatura *j*, "0" si no la recibe

antes_{ij} (*dummy*): "1" si el alumno *i* tiene conocimiento previo de la materia *j*, "0" si no lo tiene

pau_i: nota de admisión a la universidad obtenida por el alumno *i*

pau_i²: nota de admisión al cuadrado

edad_i: edad del alumno *i*

reside_i (*dummy*): "1" si el alumno *i* se aloja en residencia universitaria, "0" en otro caso

coe_i (*dummy*): "1" si el alumno *i* ha realizado el curso de orientación al estudio (COE), "0" si no lo ha realizado

circ_i (*dummy*): "1" si el alumno *i* no ha tenido problemas personales o familiares durante el primer cuatrimestre, "0" si los ha tenido

giti{1 o 2 o 3 o 4}_i (*dummies*): "1" si el alumno *i* acude al grupo {1 o 2 o 3 o 4} del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, "0" en otro caso

gia{1 o 2}_i (*dummies*): "1" si el alumno *i* acude al grupo {1 o 2} del Grado en Ingeniería Aeroespacial, "0" en otro caso

gic_i (*dummy*): "1" si el alumno *i* acude al Grado en Ingeniería Civil, "0" en otro caso

giq_i (*dummy*): "1" si el alumno *i* acude al Grado en Ingeniería Química, "0" en otro caso

ε_{ij}: término de error

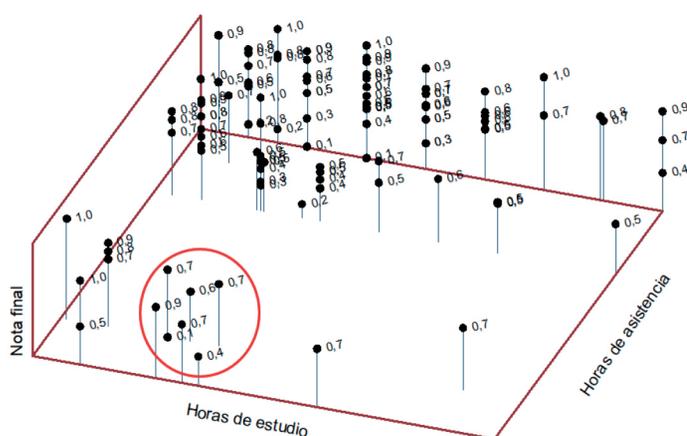


Figura 3. Eficiencia DEA-VRS. Asignatura de Empresa

la nota de admisión a la universidad ha de superar los cinco puntos y puede alcanzar un máximo de catorce puntos; se obtiene, para los alumnos procedentes del bachillerato, calculando una media ponderada de la nota media del bachillerato y de la nota obtenida en la llamada Prueba de Acceso a la Universidad, que es una prueba escrita que se realiza a los estudiantes que desean acceder a los estudios universitarios en universidades públicas y privadas de España.

Los resultados de las tres estimaciones⁷ se recogen en la Tabla 2. En lo que se refiere a los coeficientes obtenidos, po-

⁶ Este primer modelo de regresión trata de explicar la calificación que ha obtenido el alumno en las diferentes asignaturas que ha cursado; se centra por tanto directamente en la nota del alumno, más que en su nivel de eficiencia en el uso de las horas de estudio y de asistencia; por tanto, estas dos últimas variables serán consideradas explícitamente en la estimación.

⁷ El grado de ajuste de las regresiones, medido por el coeficiente R2 ajustado, es relativamente elevado, alcanzando un valor de 88% en el primer modelo, el que trata de explicar la nota del alumno. Asimismo, en las tres estimaciones, el contraste de significación conjunta del modelo, a partir del estadístico de la F, permite rechazar la hipótesis nula de ausencia de significatividad conjunta de las variables; cada modelo es por tanto explicativo de forma conjunta. Por otro lado, el contraste de heterocedasticidad de White permite aceptar la hipótesis de homoscedasticidad del residuo. Finalmente, los errores estándar de las estimaciones son robustos a la posible existencia de correlación intra-grupo (intra-alumno en nuestro caso); es decir, en la estimación se ha tenido en cuenta el hecho de que distintas observaciones de la muestra corresponden al mismo estudiante.

Variable endógena →	Nota final	Efic. DEA-CRS	Efic. DEA-VRS
Variables explicativas ↓	Coefficiente Error estándar	Coefficiente Error estándar	Coefficiente Error estándar
est	0,02*** 0,00		
est ²	-0,00008*** 0,00		
asist	-0,05* 0,03		
asist ²	0,001*** 0,00		
repite	1,01** 0,49	-0,09 0,06	0,05 0,07
academia	-1,58*** 0,26	0,003 0,05	-0,09** 0,04
ayuda	0,91** 0,38	0,08 0,09	0,13** 0,05
antes	-0,27 0,21	0,11*** 0,03	0,01 0,02
pau	-1,32*** 0,37	-0,09* 0,05	-0,11** 0,04
pau ²	0,09*** 0,02	0,01** 0,00	0,01*** 0,00
edad	0,34*** 0,10	0,03** 0,01	0,03*** 0,01
reside	0,36 0,31	0,06 0,04	0,05 0,04
coe	0,28 0,40	0,06 0,04	0,03 0,05
circ	0,84*** 0,25	0,09** 0,03	0,1*** 0,03
giti1	1,29* 0,75	0,10 0,12	0,19 0,13
giti2	0,9 0,77	0,08 0,12	0,15 0,14
giti3	1,0 0,73	0,07 0,12	0,17 0,13
giti4	0,97 0,76	0,05 0,12	0,14 0,13
gia1	-0,34 0,77	-0,08 0,12	-0,02 0,13
gia2	0,60 0,71	0,01 0,12	0,09 0,13
gic	1,94** 0,74	0,13 0,12	0,25* 0,13
giq	1,69** 0,76	0,05 0,12	0,23* 0,13
Nº observaciones	505	505	505
Prob > F	0,00	0,00	0,00
R ² ajustado	0,88	0,73	0,86
Prob > chi ² (Contraste de White)	0,73	0,51	0,85

Significatividad: * p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

Tabla 2. Resultados de las estimaciones

demos destacar los siguientes resultados. Las variables est y est² apuntan hacia una relación convexa entre la calificación y las horas de estudio, relación que determina la existencia de un nivel óptimo de horas de estudio dedicadas a la asignatura, en torno a las 100 horas al cuatrimestre (unas 6,6 horas a la semana). Por su parte, los coeficientes obtenidos para asist y asist² dan lugar a una relación aproximadamente exponencial creciente, que indica que los alumnos que mejor nota obtienen son aquellos con un mayor nivel

de asistencia a clase –la elasticidad de la calificación al grado de asistencia es algo superior a 0,2.

Para el resto de variables se observan resultados parecidos, a nivel cualitativo, en las estimaciones de la nota final y de la eficiencia VRS. Ambas variables dependen positivamente de la nota total de acceso a la universidad del alumno, de su edad, de haber recibido orientación externa (a nivel familiar) sobre la asignatura y de haber podido desarrollar el cuatrimestre con normalidad (sin problemas personales o fa-

miliares). Además, participar en los Grados de Ingeniería Civil o de Ingeniería Química tiene un efecto favorable sobre la calificación y, aunque en menor grado, sobre la eficiencia VRS, lo cual, dado que la nota de acceso a la universidad media es menor en estos dos grados, se puede deber a que el profesorado aplique sistemas de evaluación relativamente menos exigentes. El haber recibido la materia con anterioridad, el tipo de alojamiento y el seguimiento del curso de orientación al estudio (COE) no parecen tener un efecto significativo en las varia-

bles explicadas, mientras que haber recibido clases de apoyo en una academia arroja un inesperado efecto negativo; este último factor podría explicarse quizás porque el alumno opta por bajar su esfuerzo personal al obtener una ayuda extra en la asignatura, o porque las academias de apoyo no están realizando una labor de formación y orientación adecuada. Finalmente, la diferencia principal entre el modelo explicativo de la calificación y el explicativo de la eficiencia VRS consiste en que ser repetidor garantiza una mayor calificación pero no una mayor eficiencia –el alumno repetidor ha podido cosechar una mayor nota pero a costa de acumular una mayor cantidad de horas de estudio y de asistencia.

5. CONCLUSIONES

El análisis DEA muestra que los estudiantes ganan eficiencia al pasar del modelo CRS al modelo VRS, y que la eficiencia media por alumno o por asignatura puede diferir considerablemente; además, la eficiencia de un mismo alumno puede variar significativamente dependiendo de la asignatura considerada. El modelo VRS, al permitir conocer qué alumnos sobre la frontera pueden servir de referencia para los alumnos ineficientes que operan en un tramo de escala similar, se podría utilizar para conseguir mejoras docentes, ya que permitiría generar vías de contacto (por asignatura) entre los alumnos ineficientes y sus referencias más cercanas; relaciones que deberían ser fomentadas por los docentes de cada asignatura. Así, los alumnos eficientes podrían explicar a sus compañeros cercanos en la frontera su técnica o tecnología de estudio: reparto de las horas de estudio dentro del día y de la semana, grado de asistencia a cada asignatura, impresiones sobre la labor docente del profesorado, metodología de estudio en cada asignatura, variables de entorno que le afectan favorable o desfavorablemente, hábitos de alimentación, sueño y deporte, gestión del estrés en épocas de exámenes, etc.

En una segunda parte del trabajo, se ha intentado explicar la calificación del alumno y sus eficiencias DEA CRS y VRS mediante un análisis de regresión lineal que incluye como regresores características del alumno, de su entorno y de su desempeño dentro de cada asignatura. Para maximizar la nota obtenida por el alumno (nota que oscila entre 0 y 10 en cada asignatura) se recomienda la asistencia a todas las clases de la asignatura y dedicar a cada una entre 6 y 7 horas de estudio semanales. En términos de eficiencia, obsér-

vese que el empleo de más *inputs* (horas de asistencia a clase y horas de estudio) solo mejorará el rendimiento relativo de un alumno si viene acompañado de un incremento significativo de su nota; asimismo, un alumno podría ser eficiente (en el sentido DEA) en una asignatura suspensa si el cociente entre la nota obtenida y los recursos empleados es lo suficientemente elevado, aunque este caso solo se da en tres observaciones de la muestra; esto es, casi todos los alumnos eficientes en una asignatura, aprueban la asignatura. Por otro lado, existen otras variables que influyen positivamente en la nota del alumno, así como en su grado de eficiencia, como la edad –los alumnos con 20 años o más obtienen mejores calificaciones en promedio–, la nota obtenida en el acceso a la universidad, el recibir asesoramiento familiar sobre la asignatura –téngase en cuenta que la mayoría de las asignaturas de primer curso contienen materias relativamente básicas: álgebra, cálculo, física, etc.– y, especialmente, el desarrollo del cuatrimestre con normalidad (sin problemas de índole personal o familiar). Por otro lado, la variable "haber recibido clases de apoyo en una academia" muestra un inesperado efecto negativo en la nota y la eficiencia VRS del alumno, aspecto que requeriría un análisis adicional. Finalmente, la realización del curso de orientación al estudio (COE), curso que ofrece la propia universidad a sus alumnos de nuevo ingreso, parece tener algún efecto positivo en la mejor organización del alumno, al menos en lo que se refiere a la eficiencia CRS.

Finalmente, nuestro análisis permite también lanzar una reflexión a la propia universidad, en el sentido de que se debería revisar quizás el carácter anual de algunas asignaturas, ya que los alumnos parecen presentar peor calificación y eficiencia relativa en dichas asignaturas, al menos durante el primer cuatrimestre del curso estudiado.

La metodología de análisis del rendimiento de los estudiantes de este trabajo puede aplicarse, con una ligera adaptación, a otras ramas universitarias –por ejemplo, la estamos aplicando ahora a estudiantes de Economía de otra universidad. Asimismo, pueden considerarse variables explicativas adicionales (sociales, económicas, tecnológicas, etc.).

REFERENCIAS

- [1] 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), pp. 1078-1092.

- [2] Banker, R.D. y Morey, R.C. (1986): Efficiency analysis for exogeneously fixed inputs and outputs, *Operations Research*, 34 (4), pp. 513-521.
- [3] Charnes, A., Cooper, W.W. y Rhodes, E. (1978): Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, 26 (6), pp. 429-444.
- [4] Cooper, W.W., Seiford, L.M. y Zhu, J. (2011): *Handbook on Data Envelopment Analysis*, segunda edición, Springer, New York.
- [5] De Jorge, J. y Santín, D. (2010): Los determinantes de la eficiencia educativa en la Unión Europea, *Hacienda Pública Española*, 193 (2), pp. 131-156.
- [6] Fuentes, R., Fuster, B. y Lillo-Bañués, A. (2016): A three-stage DEA model to evaluate learning-teaching technical efficiency: Key performance indicators and contextual variables, *Expert Systems with Applications*, 48, pp. 89-99.
- [7] Gonzalo, D.C., Arce, M.R., Orden, H.G., Velasco, I.M. y Calzada, M.P. (2017): Modelo de red Bayesiana de la percepción del éxito de alumnos de ingeniería en términos de su vocación, *DYNA Ingeniería e Industria*, 92 (4), pp. 399-403 DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8157>
- [8] Hashimoto, A. (1996): A DEA selection system for selective examinations, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 39 (4), pp. 475-485.
- [9] Johnes, J. (2006): Measuring teaching efficiency in higher education. An application of data envelopment analysis to economics graduates from UK Universities 1993, *European Journal of Operational Research*, 174 (1), pp. 443-456.
- [10] Joumady, O. y Ris, C. (2005): Determining the relative efficiency of European higher education institutions using DEA, *University of New Caledonia / ROA Maastricht University*, mimeo.
- [11] Montoneri, B., Lin, T.L., Lee, C.C. y Huang, S.L. (2012): Application of data envelopment analysis on the indicators contributing to learning and teaching performance, *Teaching and Teacher Education*, 28 (3), pp. 382-395.
- [12] Thanassoulis, E., Da Conceicao, M. y Portela, A.S. (2002): School outcomes: Sharing the responsibility between pupil and school, *Education Economics*, 10 (2), pp. 183-207.
- [13] Unión Europea (2010): Conclusiones del Consejo de 12 de mayo de 2009 sobre un marco estratégico para la cooperación europea en el ámbito de la educación y la formación (ET 2020), *Diario Oficial de la Unión Europea* (2009/C 119/02).
- [14] Xiong, Y. (2015): A comprehensive quality evaluation on the college students via DEA, *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 18 (5), pp. 639-648.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las sugerencias del Editor y de los evaluadores de la revista, así como las recibidas de Gabriel Villa, Pablo Álvarez de Toledo y Rocío Jorge. Asimismo, agradecemos la participación desinteresada de los estudiantes encuestados. Este trabajo fue presentado en el Congreso Internacional de Innovación y Tendencias Educativas (INNTED, Sevilla, 2017) y en las XIII Jornadas sobre Docencia de Economía Aplicada (Madrid, 2017), en donde también recibimos sugerencias de interés.

MATERIAL SUPLEMENTARIO

https://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/_adic/8924-1.pdf

