



III CADI
IX CAEDI
2016



UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL
RESISTENCIA

UNIVERSIDAD NACIONAL
DEL NORDESTE
FACULTAD
DE INGENIERÍA

MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA Y EL RENDIMIENTO ACADÉMICO DE LOS ALUMNOS DE UNA FACULTAD DE INGENIERÍA

Devincenzi, Gustavo H., Facultad de Ingeniería – UNNE, gdevin@ing.unne.edu.ar;
Rohde, Gricela A., Facultad de Cs. Es. – UNNE, grohde@eco.unne.edu.ar
Bernaola, Gustavo A., UTN – Fac. Reg. Rcia., gustavo@edesycc.com.ar
Bonaffini, María L., Facultad de Cs. Es. – UNNE, mbonaffini@eco.unne.edu.ar
Giraudó, Marta B., Facultad de Ingeniería – UNNE, marta_giraudó@yahoo.com.ar
Dellamea, César H., Facultad de Cs. Es. – UNNE, cesarhdellamea@gmail.com

Resumen— La Educación Superior constituye uno de los principales instrumentos para asegurar una mejora en la calidad de vida y en el desarrollo de las personas, en consecuencia, el fortalecimiento de la educación universitaria resulta un elemento clave para lograr la competitividad de las estructuras sociales, económicas y productivas. Para lograrlo es evidente la necesidad de evaluar o cuantificar los logros académicos de sus alumnos, en un tramo de la carrera o en la totalidad de la misma, para que esta información sea el soporte de toda propuesta estratégica de optimización del nivel del egresado.

El objetivo de este trabajo es obtener, en base a modelos matemáticos teóricos, el rendimiento académico de los alumnos y la eficiencia de las cátedras, aplicado a los dos primeros años de las carreras de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste, período en el que se evidencia el mayor desgranamiento de estudiantes.

Para este trabajo se seleccionó, procesó y analizó la información disponible en dicha Unidad Académica, considerando criterios para definir el desempeño académico de los alumnos mediante un índice de rendimiento de los mismos, así como de eficiencia de las cátedras.

Los valores obtenidos permitirían a la institución medir la eficiencia y vulnerabilidad de los alumnos en los períodos considerados para aplicar medidas correctivas con el objeto de mejorarlas.

Palabras clave— *Modelos matemáticos, Eficiencia, Rendimiento académico.*

1. Introducción

La Teoría del Capital Humano (Becker, 1964 [1]) afirma que un individuo mejor preparado será capaz de recibir mayores ingresos a lo largo de su vida. Esta Teoría ha derivado en la búsqueda de la mejora en la calidad de la enseñanza, la reducción del desgranamiento de los estudiantes y el aumento en el rendimiento académico, por ello, uno de los objetivos prioritarios de toda sociedad, es contribuir a la eficiencia de las instituciones educativas, estableciendo la viabilidad de la existencia de un modelo de desarrollo sostenible, imprescindible para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

La educación superior constituye uno de los principales instrumentos para asegurar esta mejora en la calidad de vida y en el desarrollo de las personas. Ha sido estudiada la estrecha relación que existe entre el nivel educativo, el desarrollo social y el económico de una sociedad, por lo

Modelos matemáticos para la medición de la eficiencia y el rendimiento académico de los alumnos de una Facultad de Ingeniería.

tanto resulta imprescindible fortalecer las instituciones de nivel superior para potenciar el desarrollo de una ciudadanía competente y comprometida.

A fin de obtener resultados en cuanto a calidad y equidad educativa, es necesario que la Universidad incorpore elementos para mejorar la realidad, defendiendo una universidad inclusiva que contribuya a resolver problemas sociales como la discriminación y la marginación que conducen a la desigualdad de oportunidades[2], entendiendo que la Educación Superior es uno de los principales factores que posibilitan el desarrollo, tanto a nivel personal como así también de las comunidades y de los países. El fortalecimiento de la educación universitaria y de sus instituciones, es un elemento clave para lograr la competitividad de las estructuras sociales, económicas y productivas.

Se hace evidente la necesidad de evaluar o cuantificar los logros académicos de los alumnos, en un tramo de la carrera o en la totalidad de la misma. Esta información le permite a las instituciones conocer la calidad educativa, el desempeño académico de sus alumnos, teniendo en cuenta su rendimiento académico, que será el soporte de toda propuesta estratégica de optimización del nivel del egresado.

La CONEAU (Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria), en el marco de los procesos de acreditación de las carreras de interés público, aplica desde el año 2002 una prueba de evaluación de los aprendizajes de los alumnos, denominada ACCEDE (Análisis de las competencias y contenidos de los que los estudiantes disponen efectivamente). La misma se aplica para una determinada franja de los estudiantes, los que poseen entre el setenta y cinco y ochenta por ciento de las materias de las carreras mencionadas, siendo anónima y opcional su realización. Se analiza, como su nombre lo indica, si los alumnos poseen las competencias y contenidos que se dicen en el Plan de Estudios de la carrera en acreditación [3].

Si bien este examen es relevante para el proceso llevado a cabo por la CONEAU, resulta importante encontrar un método que permita medir el rendimiento académico de los alumnos en distintas instancias de su trayectoria universitaria, siendo fundamental en el ciclo básico, para poder realizar los ajustes y modificaciones necesarios para lograr un mejor rendimiento de los estudiantes.

Ciertamente son conocidas la complejidad y la polémica respecto a cuáles son las variables e indicadores que definen mejor el rendimiento académico y en consecuencia los métodos más acertados para medirlo.

Teniendo en cuenta las distintas etapas definidas por el Plan de Estudio y las normativas vigentes en cada institución, nos proponemos elaborar un modelo que permita medir el rendimiento académico general, considerando el desempeño particular de cada alumno, y en cuya estimación consideraremos la capacidad para regularizar las distintas asignaturas que conforman el perfil del egresado, propio de cada carrera, acotando el estudio al primer año de la carrera y el primer cuatrimestre del segundo año, por ser un plan de estudio común a las distintas carreras de Ingeniería.

El objetivo de este trabajo es obtener, en base a modelos matemáticos teóricos, el rendimiento académico de los alumnos y la eficiencia de las cátedras, aplicado a los dos primeros años que resultan comunes a las carreras de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste, período en el que se evidencia el mayor desgranamiento de los estudiantes.

El presente trabajo forma parte de las tareas que llevan adelante los integrantes del proyecto de investigación denominado “Aplicación de modelos matemáticos para evaluar la eficiencia y la vulnerabilidad de los alumnos en los primeros años de estudios universitarios.” PI M002/14 acreditado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste.

2. Marco teórico

Al evaluar el rendimiento académico de los alumnos es necesario conocer previamente los criterios asumidos por la institución para determinar dicho desempeño. Es preciso seleccionar, procesar y analizar la variada información disponible en la Unidad Académica en estudio para determinar los indicadores que nos permitirán analizar y evaluar.

Para este trabajo utilizamos distintas herramientas, seleccionadas por su pertinencia para realizar el análisis y evaluación.

Para el estudio de la eficiencia de las cátedras desde el año 2005 hasta el 2014, utilizamos el modelo DEA (Data Envelopment Analysis) y para analizar el rendimiento académico de los alumnos hemos considerado, en este primer momento, el índice denominado Rendimiento Integral de Regularización (RIR).

2.1 Análisis Envolvente de Datos (DEA)

La metodología DEA [4] es una técnica que utiliza herramientas de programación lineal para comparar unidades de producción que utilizan el mismo grupo de recursos y producen el mismo grupo de bienes, generando la frontera eficiente e indicadores relativos de eficiencia dentro de la población de unidades de producción estudiadas.

Esta metodología fue iniciada por Charnes, Cooper y Rhodes, cuando formularon el primer modelo DEA (CCR) utilizando como base los conceptos originalmente planteados por Farrell (1957).

Algunas de las principales ventajas de este modelo son:

- ✓ Es una técnica no paramétrica, por lo tanto no resulta necesario establecer primeramente una relación funcional entre las variables de entrada y de salida.
- ✓ Permite utilizar múltiples variables de entrada y de salida.
- ✓ No es necesario utilizar la misma unidad de medida para los datos.
- ✓ Se construye la frontera de eficiencia con información que resulta de optimizaciones individuales, que permiten la selección de distintas tecnologías para cada unidad evaluada.

La eficiencia puede ser caracterizada con relación a dos orientaciones básicas:

- ✓ Orientado a las entradas: cuando dado un nivel de outputs se busca la máxima reducción proporcional en las variables de entrada mientras permanecen en la frontera de posibilidades de producción.
- ✓ Orientado a las salidas: cuando dado el nivel de inputs se busca el máximo incremento proporcional de los outputs permaneciendo dentro de la frontera de posibilidades de producción.

Las versiones de este modelo pueden ser de rendimientos a escala constante y a escala variable:

- ✓ Rendimientos Constantes a escala: Cuando al variar la cantidad utilizada de inputs en una determinada proporción el output obtenido varía en la misma proporción. El modelo básico CCR considera este rendimiento.
- ✓ Rendimientos Variables a escala, pueden ser:
 - Crecientes a escala: al variar la cantidad utilizada de inputs en una determinada proporción el output obtenido varía en una proporción mayor.
 - Decreciente a escala: al variar la cantidad utilizada de inputs en una determinada proporción el output obtenido varía en una proporción menor.

2.2 Rendimiento integral de regularización (RIR):

Para lograr el rendimiento integral de regularización [5] se tuvo en cuenta la normativa y reglamentos institucionales, vigentes en el Plan de Estudio de la Facultad de Ingeniería. Para obtenerlo se comenzó con la determinación de un primer rendimiento que vincula la cantidad de veces que regularizó la materia y la cantidad de veces que la cursó para obtener la regularidad, de acuerdo con el Plan de Estudios en los tres cuatrimestres considerados.

$$\text{Índice materia regularizada} = \frac{[\text{Cantidad de veces que regularizó la materia}]}{[\text{Cantidad de veces que cursó la materia para obtener la regularidad}]} \quad (1)$$

Estos cálculos se realizaron para cada alumno y por cada año académico, o sea desde marzo a febrero del año siguiente para primer año y de marzo a julio para segundo año.

La sumatoria de los índices de todas las materias regularizadas, en el período considerado, nos da la eficiencia total de regularización:

$$\text{Eficiencia total de regularización} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{NI_j} \quad (2)$$

Siendo:

j : asignatura

NI_j : cantidad de veces que el alumno se inscribió para cursar la asignatura j

A esta sumatoria la dividimos por la cantidad de materias que teóricamente debería haber cursado el alumno (MTR) para obtener el rendimiento de regularidad:

$$\text{Rendimiento de regularidad (RR)} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{NI_j}}{MTR} \quad (3)$$

Sin embargo no se debe considerar con igual rendimiento a un estudiante que regularizó las trece materias en los términos previstos por el Plan de Estudios que a aquel que demoró más tiempo en hacerlo. Por este motivo se introduce un coeficiente de ajuste (CA):

$$CA = \frac{[\text{Cantidad de meses teóricos para regularizar las materias del período considerado}]}{[\text{Cantidad de meses reales utilizados para regularizar las materias del período considerado}]} \quad (4)$$

Por lo tanto el “Rendimiento Integral de Regularización (RIR)” se obtuvo de la siguiente manera:

$$RIR = RR \cdot CA = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{NI_j}}{MTR} \cdot CA \quad (5)$$

RIR: Rendimiento integral de regularización

RR: Rendimiento de regularidad

CA: Coeficiente de ajuste por retraso en la carrera

Si un alumno aprueba una materia como libre, en ese momento se considera que obtuvo también la regularización.

3. Metodología

Para el presente trabajo se seleccionó, procesó y analizó la información disponible en la Unidad Académica en estudio para los dos primeros años, considerando los alumnos de las cohortes desde el año 2005 hasta el año 2010 para el análisis del rendimiento académico y hasta el año 2014 para la eficiencia de las cátedras.

Es necesario mencionar que de primer año se tomaron los dos cuatrimestres, pero de segundo año sólo el primero, porque a partir de allí ya se diferencian las materias para cada orientación.

Las asignaturas consideradas fueron trece, para primer año, ocho: Álgebra y Geometría, Análisis Matemático I, Sistemas de Representación (Módulo I), Fundamentos de Ingeniería, Análisis Matemático II, Física I, Química, Sistemas de Representación (Módulo II); para segundo año, cinco: Análisis matemático III, Informática, Estabilidad I, Física II y Física III.

Se realizó el análisis de la eficiencia de las asignaturas en el período 2005 -2014 y el estudio del rendimiento académico de los alumnos de las cohortes 2005-2010. Los datos fueron extraídos del Sistema de Gestión SIU-Guaraní de la Universidad Nacional del Nordeste.

3.1 Análisis de la eficiencia de las asignaturas

Para esta investigación, se realizó el corte al finalizar el cursado de cada una de las asignaturas. Se tomó como input (variable de entrada), la cantidad de alumnos inscriptos para cursar y como outputs (variables de salida) la cantidad de estudiantes que regularizaron y la cantidad que promocionaron las materias (no se consideró la promoción por equivalencia). En el análisis de la eficiencia se trabajó con el modelo matemático DEA eligiendo de las orientaciones, el de los outputs y considerando los rendimientos a escala constante (CCR).

Se realizó el análisis de las trece asignaturas en el período comprendido entre 2005 y 2014, sin considerar los alumnos recursantes para el primer año (2005) de este estudio.

Para el procesamiento de estos datos se utilizó el Programa Microsoft Excel, lenguaje VBA, rutina desarrollada por el Director del Proyecto mencionado anteriormente.

3.2 Estudio del rendimiento académico de los alumnos

En este estudio se utilizó el índice de rendimiento integral de regularización (RIR) para las cohortes desde el 2005 hasta el 2010, utilizando los productos Visual Foxpro y Excel para las bases de datos y tablas procesadas.

Para este análisis se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones para aplicar el índice de Rendimiento Integral de Regularización del Alumno (RIR)

- ✓ Se tomaron las 8 asignaturas de primer año más 5 del primer cuatrimestre de 2° año (comunes a todas las ingenierías). Solamente de ellas se consideraron las informaciones necesarias para realizar todos los cálculos (a excepción del total de materias aprobadas, que figura en la columna 'Totapro' de la tabla de Excel que se explica seguidamente).
- ✓ El proceso abarca los alumnos que ingresaron desde el 2005 hasta el 2014 inclusive (los datos disponibles son hasta el turno de abril del 2015).
- ✓ Si el alumno aprobó una materia en condición de libre, se considera, a los fines del proceso, como una cursada y una regularización más.

Modelos matemáticos para la medición de la eficiencia y el rendimiento académico de los alumnos de una Facultad de Ingeniería.

Con estas consignas de trabajo se confeccionó una tabla en Excel con las siguientes columnas:

Tabla 1. Cabecera de tabla de datos de alumnos, según número de legajo

LEGAJO	RIR	FE_MIN	FE_MAX	CANT_REG	ANIOS	ANIOSPLAN	TOTAPRO
--------	-----	--------	--------	----------	-------	-----------	---------

Fuente: Elaboración Propia

En esta tabla la información por columna es la siguiente:

- Legajo: para este estudio se consideró el número de legajo de cada alumno de la muestra.
- RIR: índice de Rendimiento Integral de Regularización por alumno.
- Fe_min: es la primera fecha en que se informa una situación de fin de cursado o aprobación libre del alumno.
- Fe_max: es la última fecha en la que se informa una situación de fin de cursado o aprobación libre del alumno en las trece materias en estudio.
- Cant_reg: es la cantidad de veces que el alumno regularizó alguna de las materias que se están considerando (o bien aprobó como libre).
- Anios: Cantidad de años desde que el alumno hizo su primera actividad académica registrada hasta la última que se tiene informada, para las trece materias (se toman años enteros).
- Aniosplan: Cantidad de años que le debería haber demandado regularizar las asignaturas consideradas (1 ó 2 según corresponda, 0 si no se registra ninguna actividad), según el Plan de Estudios.
- Totapro: cantidad total de materias aprobadas que tiene del alumno, hasta el año 2014.

4. Análisis de los resultados

4.1 Análisis de la eficiencia de las asignaturas

Utilizando la rutina del Programa Microsoft Excel, en lenguaje VBA, se realizó el análisis de la eficiencia (Score) de las trece asignaturas en el período comprendido entre 2005 y 2014, obteniéndose los siguientes resultados:

- ✓ Para las materias de primer año (dos cuatrimestres):

Tabla 2. Eficiencia de las materias de 1º año 1º cuatrimestre

DMU	SCORE			
	Álg. y Geom.	Anál.Mat.I	Fund.de Ing.	Sist.Rep.Mód.I
2005	53,80%	33,22%	62,34%	60,10%
2006	53,46%	29,31%	67,96%	60,69%
2007	46,55%	28,47%	42,61%	57,45%
2008	59,56%	45,17%	51,38%	72,14%
2009	46,13%	42,30%	49,42%	61,03%
2010	41,69%	34,55%	53,41%	68,46%
2011	44,82%	46,02%	48,24%	31,61%
2012	50,90%	47,37%	78,50%	46,44%
2013	49,35%	44,79%	72,04%	43,85%
2014	41,01%	45,32%	76,37%	40,81%

Modelos matemáticos para la medición de la eficiencia y el rendimiento académico de los alumnos de una Facultad de Ingeniería.

Fuente: elaboración propia con datos extraídos del SIU Guaraní

Tabla 3. Eficiencia de las materias de 1º año 2º cuatrimestre

DMU	SCORE			
	Física	Química	Anal.Mat.II	Sist.Rep.Mód.II
2005	68,00%	81,96%	53,46%	76,52%
2006	78,25%	90,31%	59,00%	72,92%
2007	84,82%	86,95%	70,30%	74,19%
2008	53,51%	92,14%	57,35%	88,80%
2009	74,85%	93,41%	57,37%	85,54%
2010	62,74%	87,57%	69,56%	88,13%
2011	57,07%	87,89%	73,44%	83,68%
2012	59,42%	79,24%	59,51%	97,10%
2013	69,23%	89,64%	38,91%	100,00%
2014	69,31%	88,60%	56,70%	93,95%

Fuente: elaboración propia con datos extraídos del SIU Guaraní

- ✓ Para las materias de segundo año (un cuatrimestre):

Tabla 4. Eficiencia de las materias de 2º año 1º cuatrimestre

DMU	SCORE				
	Informática	Anál.Mat.III	Física II	Estabilidad I	Física III
2006	93,73%	100,00%	92,02%	89,96%	45,86%
2007	72,96%	82,62%	92,72%	61,13%	35,66%
2008	61,55%	56,01%	93,84%	52,16%	31,02%
2009	71,02%	59,16%	91,35%	43,67%	51,89%
2010	70,81%	47,96%	92,82%	46,10%	37,11%
2011	62,28%	42,33%	89,12%	39,81%	52,12%
2012	68,46%	55,70%	89,39%	38,65%	33,20%
2013	51,32%	41,48%	88,20%	38,32%	31,94%
2014	63,63%	27,91%	82,88%	33,91%	41,80%

Fuente: elaboración propia con datos extraídos del SIU Guaraní

Observando estos resultados se puede establecer que el máximo de eficiencia obtenido es 100% y el mínimo 27,91%. Ciertas asignaturas tienen un comportamiento particular, por ejemplo:

- ✓ Análisis Matemático III: obtiene el valor máximo de eficiencia (100%) y también el mínimo (27,91%)
- ✓ Análisis Matemático I: presenta el valor mínimo dentro de los máximos de eficiencia obtenidos por las asignaturas (47,37%), como así también un valor muy próximo al mínimo de todas las materias (28,47%).
- ✓ Física III: refleja el 52,12% de valor máximo de eficiencia y como mínimo 31,02%, siendo estos valores muy bajos respecto a los obtenidos por Física I (Máx: 84,82% y Mín: 53,51%) y Física II (Máx: 92,82% y Mín: 82,88%).

4.2 Estudio del rendimiento académico de los alumnos:

Para este estudio, se ha realizado la comparación del valor del índice de Rendimiento Integral de Regularización obtenido por cada alumno, para las trece primeras asignaturas, con la cantidad de materias aprobadas hasta el turno de abril del año 2015.

Modelos matemáticos para la medición de la eficiencia y el rendimiento académico de los alumnos de una Facultad de Ingeniería.

Teniendo en cuenta que la cantidad de materias de los Planes de Estudios de:

- ✓ Ingeniería Civil son 43
- ✓ Ingeniería Electromecánica son 39
- ✓ Ingeniería Mecánica son 44

Se han considerado los alumnos que obtuvieron 39 asignaturas o más, siempre hasta abril del año 2015 y se observó que, a partir de determinado valor del RIR, si los alumnos obtenían un número menor, no lograban obtener, ni mucho menos superar, ese número de materias. Este valor fue variando en las distintas cohortes como se detalla a continuación:

Tabla 5. RIR crítico de las seis cohortes

COHORTE	RIR crítico
2005	0.42
2006	0.45
2007	0.59
2008	0.53
2009	0.64
2010	0.92

Fuente: elaboración propia con datos extraídos del SIU Guaraní

Se observa que:

- 1) En función al promedio estimado de graduación (superior a los 7 años), se verifica que solo alumnos con mejor rendimiento logran la graduación en menos años (cohorte 2010 y luego la 2009, en ese orden).
- 2) En las cohortes 2005 y 2006 se inscribieron y tuvieron alguna actividad académica (rendir examen final / cursar una asignatura) 576 alumnos. En el último año académico considerado (abril/2014 – abril/2015) 103 de esos alumnos realizaron actividades académicas (cursado de asignaturas), el resto se graduó o abandonó. Esos 103 alumnos tienen un RIR promedio de 0.45, apreciándose que quienes tienen un RIR menor a 0.30 no llegan al 50% de las asignaturas correspondientes al título, habiendo superado el tiempo medio de graduación.

5. Conclusiones

Respecto al “Análisis de la eficiencia de las asignaturas” podemos decir que el modelo utilizado (DEA) nos permitió detectar situaciones particulares en algunas asignaturas en las cohortes analizadas que, al analizar las encuestas académicas realizadas a los alumnos de las mismas, mostraron significativas coincidencias.

En cuanto al “Estudio del rendimiento académico de los alumnos”, pudimos detectar valores de RIR que denominamos “críticos”. Los alumnos que están por debajo de esos valores no llegan a completar sus carreras.

A los efectos de una mejor detección de las vulnerabilidades, se seguirá el trabajo realizando el Análisis de rendimiento académico de los alumnos, considerando las aprobaciones / desaprobaciones de las asignaturas.

6. Referencias

- [1] BECKER, G.S. (1993). *Human Capital. A Theoretical and Empirical Analysis with Special Reference to Education. Third Edition.* Chicago, USA, The University of Chicago Press, p.17.
- [2] GAIRIN, J.; RODRIGUEZ GÓMEZ, D.; CASTRO CEACERO, D. (2012). *Éxito académico de colectivos vulnerables en entornos de riesgo en Latinoamérica.* Madrid. España. Edit. Wolters Kluwer España S.A., p.131-139.
- [3] CONEAU (2007). *La evaluación de los aprendizajes de los alumnos como instrumento de análisis del curriculum universitario.* Recuperado el 14/04/2016 de: <http://www.coneau.gov.ar/archivos/1230.pdf>, 23p.
- [4] COLL SERRANO, V.; BLASCO BLASCO, O. (2006). *Evaluación de la eficiencia mediante el Análisis Envolvente de Datos. Introducción a los modelos básicos.* Universidad de Valencia. España. 297p.
- [5] LUQUE, E.; SEQUI, J.R. (2002). *Modelo Teórico para la Determinación del Rendimiento Académico General del Alumno, en la Enseñanza Superior.* Congreso Regional de Ciencia y Tecnología, NOA 2002. Secretaría de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Catamarca. Catamarca. Argentina. p13.