

EL ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO A TRAVÉS DE MODELOS MATEMÁTICOS Y ESTADÍSTICOS

The analysis of academic performance through mathematical and statistical models

GUSTAVO DEVINCENZI¹, GRICELA ALICIA ROHDE¹, MARTA BEATRIZ VIVIANA GIRAUDO¹,

MARÍA LILIANA BONAFFINI¹, GUSTAVO ALBERTO BERNAOLA²

(GRUPO IMAGEN. INVESTIGACIÓN MATEMÁTICA APLICADA A LA GESTIÓN DE NEGOCIOS)³

Resumen

El fortalecimiento de la educación universitaria constituye un elemento fundamental para lograr la competitividad de las estructuras sociales, económicas y productivas, por ello es necesario que las instituciones de nivel superior incorporen herramientas que les permitan evaluar la marcha de sus procesos educativos, a fin de lograr una educación inclusiva, disminuyendo el riesgo de la deserción.

El objetivo de este trabajo fue medir la eficiencia de las asignaturas correspondientes al ciclo común de tres carreras universitarias mediante modelos matemáticos y análisis estadísticos. Para ello, se han seleccionado trece asignaturas que forman parte de este ciclo y que corresponden a una Unidad Académica de la Universidad Nacional del Nordeste.

En cuanto a la metodología empleada para medir la eficiencia de las asignaturas mencionadas, se utilizó el modelo de Análisis Envolvente de Datos (DEA), para el período 2005 hasta 2014.

Con los mismos datos utilizados para aplicar el modelo mencionado, se calcularon los índices de Regularidad, Aprobación, Promoción y por último, el Índice General por materia y año calendario, resultado de la sumatoria de los tres anteriores y se graficaron las líneas de tendencia, calculando las ecuaciones correspondientes a cada una de ellas. Se realizó la comparación de los resultados obtenidos a través del modelo DEA, con las líneas de tendencia, a fin de validar ambos procedimientos.

En una etapa final, se utilizó la proyección de las líneas de tendencia, a fin de pronosticar el comportamiento de las asignaturas críticas.

¹ Universidad Nacional del Nordeste.

² Universidad Tecnológica Nacional.

³ Resistencia, Chaco C.P.: 3500-Argentina. gdevin@ing.unne.edu.ar

Se puede concluir que la aplicación del modelo DEA ha validado los resultados obtenidos por el Índice General de materias, permitiendo identificar las asignaturas que resultaron críticas en el rendimiento académico, en la serie de tiempo considerada.

Palabras claves: modelos matemáticos, rendimiento académico, eficiencia de las asignaturas.

Abstract

The strengthening of university education is a fundamental element to achieve the competitiveness of social, economic and productive structures, therefore it is necessary for higher level institutions to incorporate tools that allow them to evaluate the progress of their educational processes, in order to achieve an inclusive education, reducing the risk of dropping out.

The objective of this work was to measure the efficiency of the subjects corresponding to the common cycle of three university courses through mathematical models and statistical analysis. To this end, thirteen subjects have been selected that are part of this cycle and correspond to an Academic Unit of the National University of the Northeast.

As for the methodology used to measure the efficiency of the mentioned subjects, the Data Envelopment Analysis (DEA) model was used for the period 2005 to 2014.

With the same data used to apply the aforementioned model, the indexes of Regularity, Approval, Promotion and, lastly, the General Index by subject and calendar year, resulting from the sum of the previous three, were plotted the trend lines, calculating the equations corresponding to each one of them. We compared the results obtained through the DEA model, with the trend lines, in order to validate both procedures.

In a final stage, the projection of the trend lines was used, in order to predict the behavior of the critical subjects.

It can be concluded that the application of the DEA model has validated the results obtained by the General Index of subjects, allowing to identify the subjects that were critical in the academic performance, in the time series considered.

Key words: mathematical models, academic performance, subject efficiency.

1. Introducción

Uno de los objetivos prioritarios de cualquier sociedad que busca el bienestar de sus ciudadanos, 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 sus integrantes. La educación superior constituye uno de los principales instrumentos para asegurar esta mejora en el desarrollo de las personas.

La relación existente entre el nivel educativo, el desarrollo social y el económico de una sociedad ha sido estudiada en profundidad. En virtud de ello resulta imprescindible mejorar las instituciones de este nivel, debido a que fortalecimiento de la educación universitaria es un elemento clave para lograr la competitividad de las estructuras sociales, económicas y productivas.

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 oportunidades⁴, 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 propósito de este trabajo ha sido analizar, mediante modelos matemáticos y análisis estadísticos, la eficiencia de las asignaturas del ciclo común de tres carreras universitarias de una Unidad Académica de la Universidad Nacional del Nordeste.

Para llevarlo a cabo se ha trabajado con trece asignaturas que conforman esa etapa de los estudios, siendo ocho de ellas correspondientes a primer año, divididas en partes iguales para cada cuatrimestre, y cinco para el primer cuatrimestre del segundo año.

Se analizaron los datos disponibles en un Sistema de Información Universitaria (SIU), correspondientes a la base de datos de la Unidad Académica en estudio, de los años 2005 hasta 2014.

Dado el volumen de datos se ha trabajado con un motor de base de datos local (Visual FoxPro), para realizar un procesamiento eficiente, que permita seleccionar la información necesaria de las asignaturas. A esta se le aplicó luego el modelo matemático de Análisis de Envoltura de Datos (DEA) para estudiar la eficiencia de las mismas. Se ha tenido en cuenta la normativa vigente en la Unidad Académica en cuanto a regularidad, promoción y aprobación.

⁴ Gairín, J., Rodríguez-Gómez, D. y Castro Ceacero, D. (2012). *Éxito académico de colectivos vulnerables en entornos de riesgo en Latinoamérica*. Madrid. España. Edit. Wolters Kluwer España, S.A. pág. 16.

Para el procesamiento de estos datos mediante DEA se utilizó la planilla Microsoft Excel, con una rutina desarrollada en lenguaje VBA por el Director del Proyecto.

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 General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste.

2. Marco teórico

Dentro de la constante búsqueda de la mejora continua en la cual se enmarcan las universidades, se hace necesaria la utilización de diversas metodologías o herramientas que le permitan a las mismas tomar conocimiento de sus fortalezas y debilidades.

Como parte de las tareas llevadas a cabo en este sentido, toma relevancia la implementación de distintos instrumentos para medir el desempeño institucional en relación a la eficiencia de las cátedras, como una de las actividades más representativas que se llevan a cabo, ya que permite identificar la forma en que los estudiantes perciben la idoneidad, no sólo de los docentes, sino también de los programas impartidos.

Cuando la medición de la eficiencia de las asignaturas es realizada competente-mente, es posible planificar de manera más confiable, diferenciando las oportunidades de mejora con mayor precisión y analizando las distintas opciones. Se hace así necesario que la fuente de información para alimentar los indicadores a utilizar, reúna las condiciones de ser disponible, medible y verificable.

Se ha trabajado con los datos extraídos del Sistema de Información Universitaria (SIU), de la base de datos de la Unidad Académica en estudio.

El modelo matemático utilizado para el estudio de la eficiencia de las cátedras, desde el año 2005 hasta el 2014, es el modelo DEA (Análisis Envolvente de Datos).

2.1. Análisis Envolvente de Datos (DEA)⁵

La metodología DEA es una técnica que utiliza herramientas de programación lineal para comparar unidades de producción que utilizan el mismo grupo de recursos y

⁵ COLL SERRANO, V., BLASCO, O. (2006). *Evaluación de la eficiencia mediante el Análisis Envolvente de Datos. Introducción a los modelos básicos*. Universidad de Valencia. España.

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 Farrel (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.

Como se ha mencionado anteriormente, dado el volumen se realizó una selección de datos que permitió discriminar y seleccionar la información necesaria para lograr el análisis de las asignaturas.

2.2. Proyección de Tendencias

El éxito a largo plazo de una organización, depende de la capacidad de sus administradores para anticipar el futuro y poder elaborar las estrategias apropiadas. Este concepto es aplicable, sin lugar a dudas, a las organizaciones educativas, siendo de singular relevancia en la Educación Superior, donde a veces la intuición y el buen juicio no son suficientes para realizar una planificación. Es difícil transformar esta intuición en un número que pueda ser utilizado, con validez científica, para ser usado en proyecciones a largo plazo, como herramienta de planificación.

Es por ello que mediante este trabajo se pretende aportar un método científico que permita medir y pronosticar el comportamiento de las asignaturas en base a datos históricos.

Estos datos conforman una serie de tiempo como conjunto de puntos sucesivos en el tiempo o a lo largo de períodos consecutivos.

Los procedimientos para analizar series de tiempo tienen por objetivo proporcionar buenos pronósticos o predicciones de los valores futuros de esa serie.

2.3. Métodos de pronósticos

Los componentes de una serie de tiempo son varios: tendencia, cíclicidad, estacionalidad y variaciones aleatorias o irregularidades. Comúnmente se presume que existe una combinación entre ellos para proporcionar valores específicos de dicha serie.

En el análisis de series de tiempo, las mediciones pueden tomarse en intervalos regulares de tiempo, pudiendo presentarse fluctuaciones aleatorias, cambios o movimientos sucesivos.

Los cambios graduales que tienen lugar en la serie de tiempo se denominan tendencia. Se utilizan para pronosticar los valores de una serie de tiempo que exhibe un comportamiento lineal a largo plazo. Se aplica en series que no son estables, porque presentan aumentos y disminuciones a lo largo del tiempo.

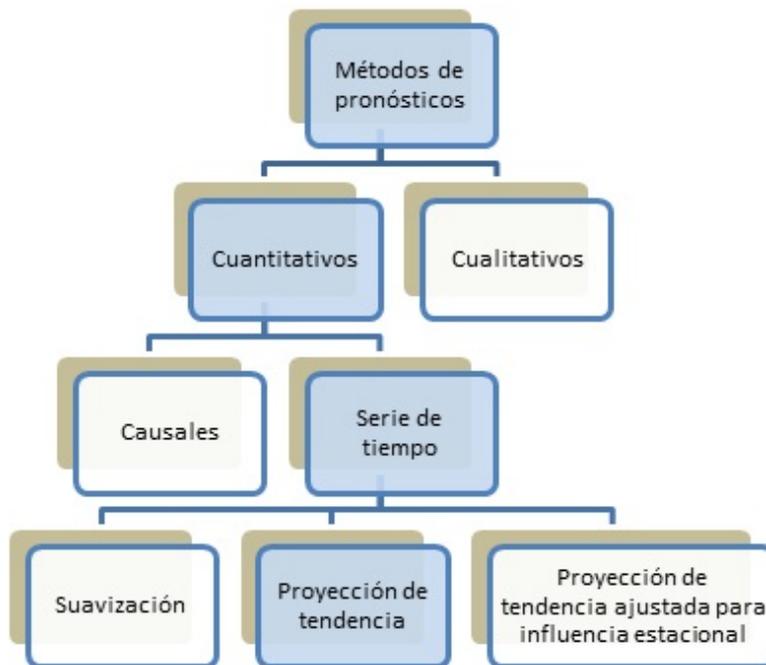


Figura 1

Fuente: Anderson, Sweeney, Williams (2004). Métodos cuantitativos para los negocios⁶.

3. Metodología

Para el presente trabajo se seleccionó, procesó y analizó la información disponible en la Unidad Académica en estudio para el primer año y para el primer cuatrimestre del segundo año, (ciclo común de las tres carreras), considerando las cátedras de los años desde el 2005 hasta el año 2014.

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 de las distintas carreras.

Las asignaturas consideradas fueron trece:

- a) De 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);
- b) De segundo año (cinco): Análisis matemático III, Informática, Estabilidad I, Física II y Física III.

La secuencia seguida para este trabajo de investigación fue la siguiente:

⁶ Anderson, Sweeney, Williams (2004). Métodos cuantitativos para los negocios. 9ª edición. Editorial Thomson. México DF. México. Pág. 174

1) Análisis de la eficiencia de las asignaturas

Para esta investigación, se analizaron las asignaturas por cada año lectivo del período considerado, utilizando para ello el Análisis envolvente de Datos (DEA), tomando:

- ✓ Inputs (variable de entrada): la cantidad de alumnos inscriptos a cursar;
- ✓ Outputs: (variables de salida), cantidad de alumnos que regularizaron, promovieron y aprobaron las materias (no se procesaron las promociones por equivalencia).

Considerando que tanto la promoción como la aprobación de las asignaturas requieren un mayor esfuerzo que el necesario para la obtención de la regularidad, se procedió a ponderar las cantidades utilizadas para estos dos primeros conceptos.

La medición de la eficiencia se realizó para cada una de las materias y año del período mencionado con anterioridad, con el fin de obtener, un ranking de los años más eficientes de cada asignatura.

2) Índices y líneas de tendencia:

a) Índices de Regularidad, Aprobación, Promoción y General.

Con los mismos datos utilizados para analizar la eficiencia de las cátedras, se obtuvieron los índices de regularidad (IMR), aprobación (IMA) y promoción (IMP), calculando, posteriormente un índice general por materia (IMG) y año calendario, resultado de la sumatoria de los anteriormente mencionados. Se utilizó la misma ponderación que en el DEA.

- ✓ En el cálculo del índice de regularidad por cada materia se utilizó:

$$IMR_i = \frac{\text{Cantidad de alumnos que regularizaron}}{\text{Cantidad de alumnos que cursaron}}$$

Siendo i cada año del período considerado.

Se ha tenido en cuenta, como cantidad de alumnos que regularizaron, los regulares y los promovidos, y como cantidad de alumnos que cursaron, los que cumplen la condición de regulares, libres y promovidos.

- ✓ Para el cálculo del índice de aprobación (IMA) por cada asignatura, se procedió de la siguiente forma:

$$IMA_i = \sum_{j=1}^n \frac{\text{Cantidad de alumnos que aprobaron}}{\text{Cantidad de alumnos que rindieron}}$$

Siendo:

i cada año del período considerado.

j cantidad de turnos de exámenes en cada año.

Considerando en la cantidad de alumnos que rindieron, los presentes a rendir.

✓ Para el cálculo del índice de promoción (IP), se tuvo en cuenta:

$$IMP_i = \frac{\text{Cantidad de alumnos promovidos}}{\text{Cantidad de alumnos inscriptos}}$$

Siendo i cada año del período considerado.

✓ El índice general por materia (IMG), cómo ya ha sido mencionado, se obtiene realizando la sumatoria de los índices anteriores en el período considerado:

$$IMG_i = \sum_{j=2005}^{2014} (IMR_j + IMA_j + IMP_j)$$

Siendo i cada una de las trece materias.

b) *Trazado y ecuaciones de las líneas de tendencias:*

Con el índice general obtenido para cada asignatura, se trazaron las líneas de tendencia utilizando el programa Excel y luego se identificaron las ecuaciones correspondientes para cada una de ellas, expresadas como una función del tiempo:

$$T_i = mt + b$$

Siendo:

T_i : valor de tendencia para cada asignatura i .

b : intersección de la línea de tendencia con el eje de ordenadas con los valores del índice general.

m : pendiente de la línea de tendencia.

3) Comparación DEA e IMG

Posteriormente se efectuó la comparación de las líneas de tendencia con los resultados obtenidos con el DEA, buscando validar los procedimientos aplicados.

4) Proyección de las asignaturas críticas

Partimos de la ecuación de la línea de tendencia obtenida para cada asignatura llamando al año 2005: $t = 0$, por lo tanto, para proyectar sustituimos en dicha ecuación por valores de t superiores a 10 (correspondiente al año 2014), utilizando las líneas de tendencias a fin de pronosticar comportamientos futuros de las asignaturas críticas.

4. Análisis de resultados

1) Análisis de la eficiencia de las asignaturas

Los valores de eficiencia obtenidos por cada asignatura para cada año del período 2005-2014 mediante el modelo DEA, se realizaron por cuatrimestre.

Se muestra a continuación uno de los cuatrimestres analizados y que corresponde al 1º Año, 1º cuatrimestre:

Tabla 1: Ranking según DEA de las asignaturas de 1ºAño 1ºCuatrimestre

No.	DMU	Score	Rank
1	Alg-2005	0,77	20
2	Alg-2006	0,71	25
3	Alg-2007	0,63	33
4	Alg-2008	0,90	8
5	Alg-2009	0,91	7
6	Alg-2010	0,65	31
7	Alg-2011	0,78	18
8	Alg-2012	0,79	16
9	Alg-2013	0,83	12
10	Alg-2014	0,57	35
11	An-2005	0,47	38
12	An-2006	0,45	40
13	An-2007	0,47	39
14	An-2008	0,66	29
15	An-2009	0,81	14
16	An-2010	0,56	36
17	An-2011	0,71	24
18	An-2012	0,67	28
19	An-2013	0,70	27
20	An-2014	0,62	34

No.	DMU	Score	Rank
21	Fund-2005	1,00	1
22	Fund-2006	0,87	10
23	Fund-2007	0,66	30
24	Fund-2008	0,71	26
25	Fund-2009	0,78	17
26	Fund-2010	0,75	23
27	Fund-2011	0,78	19
28	Fund-2012	1,00	1
29	Fund-2013	0,97	4
30	Fund-2014	0,98	3
31	Modl-2005	0,93	5
32	Modl-2006	0,84	11
33	Modl-2007	0,77	21
34	Modl-2008	0,92	6
35	Modl-2009	0,80	15
36	Modl-2010	0,89	9
37	Modl-2011	0,51	37
38	Modl-2012	0,82	13
39	Modl-2013	0,76	22
40	Modl-2014	0,65	32

2) Índice General por Materia (IGM) y líneas de tendencia:

Hallados los índices generales por materia en cada año del período considerado, se trazaron las líneas de tendencia, con sus respectivas ecuaciones. A fin de facilitar la observación, aquí también se realizaron por cuatrimestre:

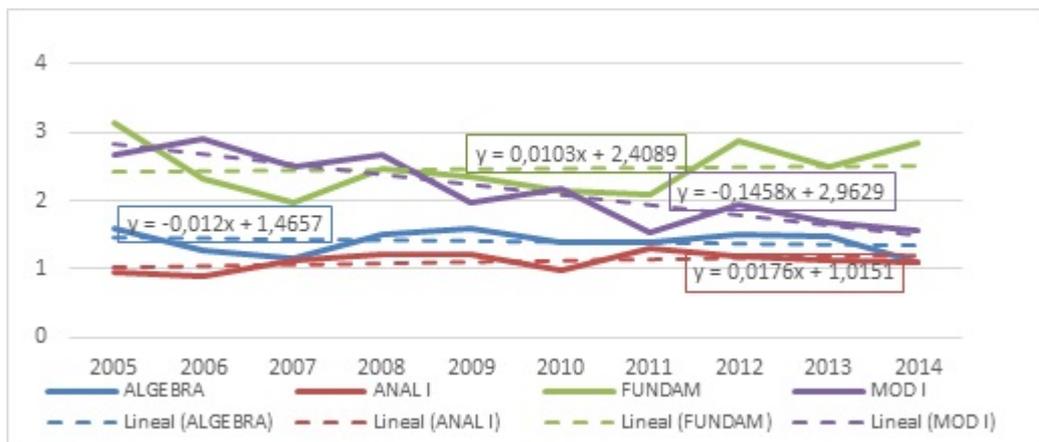


Figura 2: 1º Año-Primer cuatrimestre

En la Figura 2 se observa que las asignaturas que se encuentran mejor posicionadas son Fundamentos y Módulo I, si bien sus pendientes son, la primera positiva y la segunda marcadamente negativa. Tanto Álgebra como Análisis I reflejan valores menores de rendimiento del IGM, pero sus tendencias son más estables.

Se tomó como asignatura crítica de este cuatrimestre a Módulo I por ser la de mayor pendiente negativa.

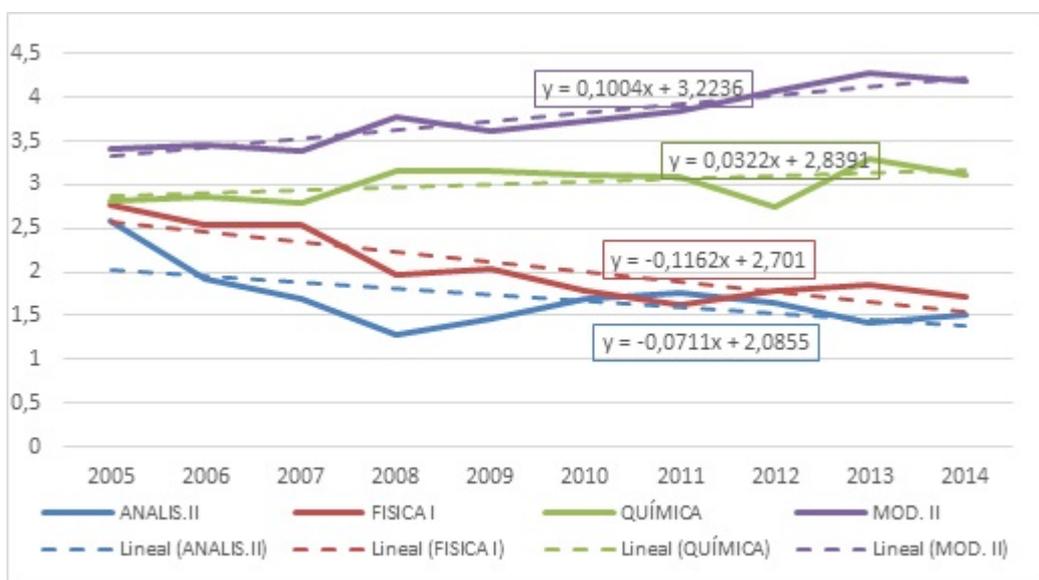


Figura 3: 1º Año-Segundo cuatrimestre

En la Figura 3, las asignaturas mejor posicionadas son Módulo II y Química, obteniendo pendientes positivas en las líneas de tendencia. Y las materias con menor valor de IMG y pendiente negativa son Física I y Análisis II.

Se consideró como asignatura crítica del primer año, segundo cuatrimestre a Física I, por su comportamiento descendente más pronunciado.

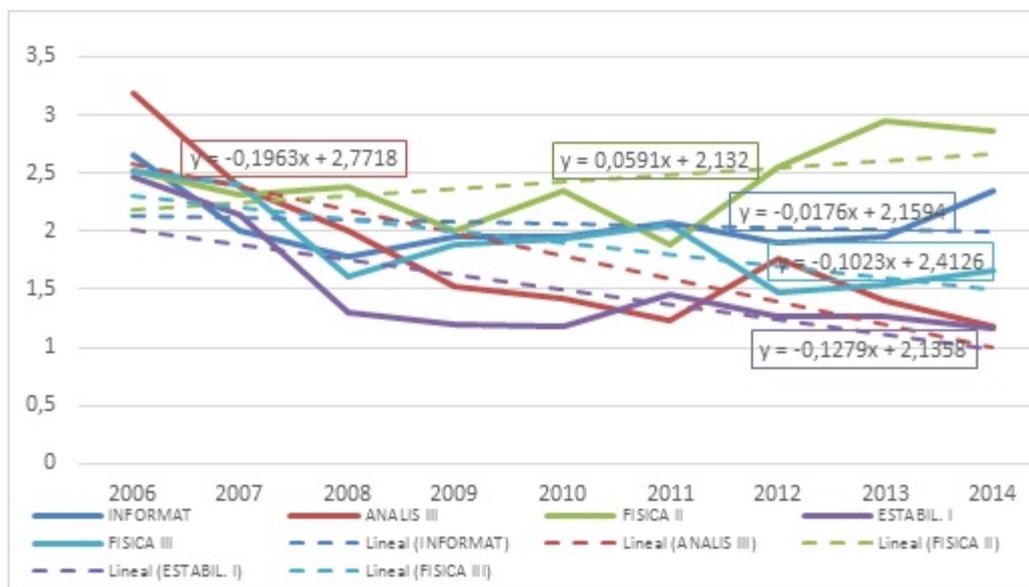


Figura 4: 2º Año-Primer cuatrimestre

En la Figura 4, la asignatura que posee el mejor rendimiento es Física II y las dos de menor valor de IMG son Estabilidad I y Análisis III, siendo ésta última la de mayor pendiente negativa. Informática presenta un comportamiento más estable en la serie de tiempo y Física III muestra marcados descensos que le dan una pendiente negativa a su línea de tendencia.

Por lo expuesto consideramos cómo asignaturas críticas para este cuatrimestre a Análisis III, Estabilidad I y Física III, en ese orden, por sus valores de pendiente negativa.

3) Comparación DEA e IMG

Análogamente se trabajó esta comparación por cuatrimestre:

Observaciones correspondientes 1º Año, 1º Cuatrimestre

En el primer cuatrimestre del período considerado (2005-2014) coinciden los valores del índice general con los score obtenidos con el DEA. Los picos más altos del gráfico 1 así como los valores 1 (100% de eficiencia) son para Fundamentos (2005 y 2012) y el más bajo para Análisis I (2006).

Observaciones correspondientes 1º Año, 2º Cuatrimestre

La asignatura Módulo II se mantiene en el mayor ranking en todo el período, colocando a la materia Química en segundo lugar. Por ello estas dos materias se encuentran en los primeros puestos de los score (no superan el número 26 de 40 DMU). En cambio, el valor más bajo corresponde a Análisis II, tanto en el IMG como con el DEA que obtuvo el último puesto.

Observaciones correspondientes 2º Año, 1º Cuatrimestre

El comportamiento de Física II es muy bueno porque se encuentra entre los 12 primeros (de las 45 DMU) durante el período considerado, siendo el año 2013 el de mayor valor de eficiencia y el pico máximo del gráfico de las líneas con el índice general. Estabilidad I y Análisis III son las que se encuentran con los picos más bajos del gráfico del IMG, como así también en los puestos más bajos del ranking del DEA.

4) Proyección de las asignaturas críticas

Siguiendo la secuencia de análisis de los puntos anteriores, se trabajó por cuatrimestre, considerando las asignaturas críticas encontradas en cada uno de ellos, para el año 2016 ($t = 12$).

✓ 1º Año, 1º Cuatrimestre

$$\text{Módulo I} \rightarrow y = -0,1458 \cdot 12 + 2,9629 = 1,2133$$

Por lo tanto, según esta proyección, el valor de IMG que obtendrá la asignatura Módulo I en el año 201 es 1,2133.

✓ 1º Año, 2º Cuatrimestre

$$\text{Física I} \rightarrow y = -0,1162 \cdot 12 + 2,701 = 1,3066$$

Según la proyección formulada, la asignatura Física I, obtendría un valor de IMG de 1,3066 en el año 2016.

✓ 2º Año, 1º Cuatrimestre

$$\text{Análisis III} \rightarrow y = -0,1963 \cdot 12 + 2,7718 = 0,4162$$

$$\text{Estabilidad I} \rightarrow y = -0,1279 \cdot 12 + 2,1358 = 0,601$$

$$\text{Física III} \rightarrow y = -0,1023 \cdot 12 + 2,4126 = 1,185$$

Considerando las ecuaciones de las líneas de tendencia, observamos que en el año 2016 el pronóstico indica que la asignatura con menor valor de IMG es Análisis III.

5. Conclusiones

De esta manera, con el modelo DEA hemos validado el comportamiento de las series de tiempo realizadas en base al Índice General de materias, pudiendo afirmar que reflejan el desempeño de las asignaturas en el período considerado.

Por lo expuesto podemos deducir que las líneas de tendencia aplicadas en dichas series de tiempo, constituyen una proyección del comportamiento que se puede inferir en cada asignatura, en base a los datos históricos seleccionados de las mismas.

6. Referencias bibliográficas

- 1) COLL SERRANO, V., BLASCO BLASCO, O. , Evaluación de la eficiencia mediante el Análisis Envolvente de Datos. Introducción a los modelos básicos. Universidad de Valencia. España, 2006.
- 2) GAIRÍN, J., RODRÍGUEZ-GÓMEZ, D. y CASTRO CEACERO, D., *Éxito académico de colectivos vulnerables en entornos de riesgo en Latinoamérica*. Madrid. España. Edit. Wolters Kluwer España, S.A., 2012.
- 3) ANDERSON, D.; SWEENEY, D.; WILLIAMS, T., *Métodos cuantitativos para los negocios*. 9º edición. Editorial Thomson. México DF. México, 2004.
- 4) DEVORE, JAY L., *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias 7a Ed.*, CENGAGE Learning, México, 2008.