

Bondades de la integración curricular en física y matemáticas en la adquisición de conocimientos y habilidades

REMIGIO CABRAL
Universidad de Quintana Roo (UQROO). México

FRANCISCO DELGADO
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). México

1. Introducción

El programa de Ingeniería Empresarial, en la unidad Playa del Carmen de la Universidad de Quintana Roo, inició sus actividades educativas en agosto de 2009 en conjunto con la apertura de la propia unidad. La orientación hacia la administración de empresas de base tecnológica implica una formación amplia en sus fundamentos científicos, la Física y las Matemáticas. Como en todo inicio de clases se tuvo una gran expectativa tanto por los profesores como por los alumnos. Mientras unos preparaban sus temas para impartir clases, los otros estaban deseosos por el hecho de aprender y por conocer a sus nuevos profesores. Este ambiente se vivió en la semana previa al inicio de clases en la que se realizó el Programa de Integración a la Universidad (PIU) para los alumnos en su primera generación. Dentro de las actividades se efectuó una evaluación de inventario de conocimientos básicos para las materias de Matemáticas y Física, con el objetivo de conocer el nivel académico de los alumnos y partiendo de estos resultados se inició y desarrolló el nivel académico para las clases.

Lo anterior mostró que se tenía un gran reto para trabajar con los nuevos alumnos, pero sumado a lo anterior, no se tenían las instalaciones terminadas, dado que el edificio de la universidad se encontraba aún en construcción, así que las autoridades solicitaron iniciar las clases en un espacio alternativo para el inicio del año escolar. La Casa de la Cultura de Playa del Carmen facilitó tres salones para clases y un espacio de trabajo para los profesores, de esta forma se inició con las clases el 31 de agosto de 2009. Existieron además retos adicionales:

- No se contaba con libros para los alumnos por no tener aún biblioteca y áreas de consulta, por lo que se solicitó el apoyo de profesores y otras instancias, para contar con ellos.
- Muchos alumnos no tenían una cultura de trabajo académico robusta o no disponían de tiempo adecuado para el estudio porque después de sus horas de clase se retiraban necesariamente a trabajar.

Revista Iberoamericana de Educación / Revista Ibero-americana de Educação
ISSN: 1681-5653

n.º 54/6 – 25/01/11

Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI)
Organização dos Estados Ibero-americanos para a Educação, a Ciência e a Cultura (OEI)



2. Evaluación previa de los alumnos

La evaluación inicial de inventario de conocimientos, que se realizó para cada materia, constó de 20 preguntas en el área de Matemáticas y 15 en la de Física. Ésta incluyó conceptos como:

Matemáticas

- Conjuntos
- Álgebra
- Trigonometría
- Cálculo diferencial e integral

Física

- Unidades físicas
- Cinemática
- Leyes de Newton
- Energía

Ninguna pregunta de los exámenes mencionados anteriormente tenía un problema a resolver, sino que, como se mencionó, se trató solamente de una prueba de inventario de conocimiento. Al calificar los exámenes se pudo percatar que el nivel académico se debería de mejorar profundamente dado que en promedio la calificación obtenida por los veintiocho alumnos que presentaron la prueba fue 3 en Matemáticas y 2.5 en Física, en una escala de 0 a 10.

3. Estrategia educativa

El diseño curricular, basado en los resultados de la evaluación previa del PIU, se construyó de manera deliberada para atender a las necesidades del grupo de alumnos (Clark, 1979; Toomey, 1997). La figura 1 muestra el esquema general bajo el que se manejaron ambos cursos, cuyos aspectos didácticos y evaluativos son discutidos en este trabajo. Dado que los alumnos tendrían al mismo profesor titular en la materia de Física I (introducción a la mecánica clásica) como de Matemáticas I (precálculo y cálculo diferencial), se aprovechó para que las materias fueran complementarias. La integración curricular ha sido valorada en el soporte que brinda en el aprendizaje (D'Angelo, 2008) y el desarrollo de habilidades complejas (Campirán, 2005; Lipman, 1997). En la clase de Matemáticas se explicaría un tema que se podría retomar en la materia de Física y viceversa. De esta forma se aprovecharon las ocho horas a la semana en las que cuatro horas fueron para Matemáticas y las otras cuatro fueron para Física.

Una forma adicional de nivelar al grupo fue el impartir asesorías de dos horas en dos días de la semana, al final de sus clases normales, donde cada alumno resolvía sus propias dudas asesorado tanto por el profesor como por sus propios compañeros que comprendían mejor el tema, mediante técnicas de aprendizaje colaborativo (AC) (Briceño y Coiman, 2008), pero todos supervisados por el profesor (Rodríguez, 2004). Así, mientras algunos trabajaban en el pizarrón otros se enfocaban a realizar ejercicios individuales para desarrollar ciertas competencias básicas (Escamilla, 2008). La asistencia a las sesiones de asesoría fue variable, pero gran parte de los alumnos participaron. La figura 2 muestra un resumen sintético y evaluativo de estas sesiones en relación con los temas genéricos de ambos cursos. Para poder realizar la comparación se reporta un *índice de asesorías específicas*, el cual se calcula considerando la razón del número de

asistentes respecto al máximo atendido a lo largo de todos los temas, dividido por el número de semanas en que el tema fue impartido en el salón de clase. De esta forma la información resulta comparable. La gráfica se acompaña del *índice de impacto*, que corresponde a la fracción de estudiantes que asistieron a asesorías de ese tema en relación al total de alumnos del curso, en cada tema. Se observa así una recurrencia casi constante en el curso de Matemáticas I pero con una participación ligeramente creciente, salvo por el tema de precálculo en el que los estudiantes prácticamente dejan de asistir. En Física I, se nota mayor recurrencia a la asesoría en los primeros temas, con una acentuación similar en la participación. Existe una disminución relacionada en ambos indicadores al final del curso.

A su vez, ambos profesores del curso utilizaron una metodología complementaria con base en un modelo educativo ya probado con estudiantes de ingeniería en el ITESM que integra el currículo básico de las áreas de Ciencias Básicas (Matemáticas, Física y Computación) y los primeros semestres de las carreras de ingeniería, denominado modelo *Principia* (Polanco, Calderón y Delgado, 2000; Delgado, 2005) y cuyos ejes fundamentales son: el aprendizaje basado en problemas (ABP) y el uso de la tecnología. Se buscó con ello desarrollar y evaluar competencias de alto nivel mediante el empleo de conocimientos y habilidades puntuales, que normalmente se desarrollan en los primeros cursos universitarios de Física y Matemáticas, los cuales se esperaba desarrollar en la clase cotidiana, fuera de la intervención del profesor invitado en las sesiones de ABP. Los escenarios seleccionados de ABP habían sido ya probados por diversas generaciones y seguían un diseño establecido para el modelo *Principia* (Delgado, 2008), y buscaban establecer una pauta previa para evaluar las competencias de pensamiento complejo basado en competencias básicas (Oliver, 2007) y redondear con un escenario donde se evaluaban muchos de los conocimientos del curso de Física para evaluar una competencia de alto nivel (Colom, 2002).

4. Descripción de la evaluación y resultados

La evaluación continua es una parte importante del proceso de enseñanza y aprendizaje (Oliver, 2007). Las evaluaciones clásicas, en los cursos de Física, por lo regular están centradas en exámenes y, en añadidura, en los reportes de laboratorio. Sin embargo, el espectro de actividades en las que un estudiante se involucra es mucho más amplio y éstas muestran la forma y el nivel en que el alumno aprehende un concepto, el cual por lo regular no se alcanza en un solo paso y de forma definitiva, pues como mencionan Artigue y Douady (1995): *para un estudiante, aprender significa involucrarse en una actividad intelectual cuya consecuencia final es la disponibilidad de un conocimiento en su doble estatus de herramienta y objeto*. Así que la evaluación continua de dicha actividad intelectual nos da una muestra clara de si el proceso seguido fue adecuado o no, y nos brinda elementos para modificarlos y acercarnos a un ideal. En el curso de Física I que aquí abordamos, las evaluaciones se realizaron de la siguiente forma:

- a) Tareas: se asignaron a lo largo del curso y se resolvieron de forma individual pero con el soporte de la asesoría.
- b) Exámenes rápidos: tanto en Física como Matemáticas se realizaron exámenes rápidos, evaluaciones a contestar en 15 minutos con contenidos breves para evaluar conceptos o competencias puntuales.
- c) Actividades de ABP: éstas cumplen las especificaciones establecidas para los escenarios del método *Principia*. La primera de las actividades (fig. 3), se basó en el diseño de un

portaequipaje. El análisis requerido hacía uso de los conceptos de: trigonometría, vectores en dos dimensiones, fuerza, torca, condiciones de equilibrio traslacional y rotacional, solución de ecuaciones, interpretación y diseño de gráficos. Fue evidente la falta de integración de conocimientos, así como de habilidad para el desarrollo y escritura matemática. La segunda de las actividades se basó en el diseño de especificaciones para el movimiento de un brazo robótico (fig. 3). En ella se explotaron los conceptos: vectores en tres dimensiones, fuerza, torca, cálculo vectorial (no incluido propiamente hasta entonces en el aprendizaje de los alumnos, pero impuesto para generar una necesidad de conocimiento a partir de los ya existentes), solución de ecuaciones, dinámica traslacional y rotacional, generación de gráficos. En este caso los alumnos mostraron un mucho mejor desempeño a través de la actividad y de su reporte final (fig. 3), que es uno de los aspectos que muestran una mejor comprensión del problema (Morin, 1999). Esta actividad resume algunas de las competencias de alto nivel desarrolladas por la metodología del curso y que cuidan aspectos del pensamiento complejo asociado a la ingeniería (Rugarcía, 1994; Schön, 1998).

- d) Exámenes parciales: se tuvieron tres exámenes que evaluaban contenidos parciales de cada curso. En el primer examen los alumnos trabajaron en parejas, así, se buscó promover una evaluación pero al mismo tiempo una actividad de aprendizaje, dadas las circunstancias de inicio de los estudiantes. El segundo examen fue individual pero pudieron emplear sus notas del curso, previo al mismo fue que se aplicó la primera actividad de ABP. El tercer examen de ambos cursos fue individual pero esta vez los alumnos fueron los responsables de construir un formulario que resumiera los contenidos, esto facultó que los alumnos aprendieran cómo construir un resumen pero siempre basado en la comprensión del mismo.
- e) Examen final: en él se siguió otra estrategia; dado que los alumnos no tenían inicialmente hábitos de estudio, de uso de bibliografía y de trabajo en equipo, se pidió un proyecto final en el cual se solicitó formaran equipos de cuatro personas para construir un formulario de cada materia (Matemáticas y Física) en forma tabular, donde se escribía el tema en una celda, sobre el mismo renglón una fórmula que podía acompañarse con un ejemplo tanto escrito como diagramático y al final del renglón, una referencia. El examen final en Matemáticas, fue más extenso que todos los anteriores, individual también y con un grado de dificultad mayor; trabajando con el formulario construido por ellos. En la parte de Física, además del examen, se evaluó con la actividad de ABP del brazo robótico. Así al llegar al examen final, que consistía de todos los temas vistos en el semestre, podrían resolverlo y ver cómo esta actividad les era de utilidad como hábito de preparación para un examen. En este examen se repitieron algunos temas que se preguntaron en el inventario del PIU.

La figura 4 muestra algunos detalles interesantes observados en el examen final y su relación con el inventario previo. Un primer aspecto es que en general, dado que el examen final es un examen orientado a competencias y no sólo al conocimiento de conceptos, como lo fue el PIU, no son estrictamente comparables a pesar de coincidir en general en contenidos. En general, por el transcurrir de los cursos, las calificaciones fueron más altas en este examen final. Con la finalidad de comparar mejor los datos, se ha construido un índice *relativo de aprovechamiento (I.R.A.)*, que mide precisamente este grado de avance en relación al promedio del grupo:

$$I.R.A. = \log_{10} \frac{c_i/c_{PIU}}{\bar{c}/\bar{c}_{PIU}}$$

En donde c_i es la calificación de cada alumno en el examen final y c_{PIU} la correspondiente a la obtenida en el PIU. Así, este índice se calcula para cada uno de los 26 estudiantes (sólo dos estudiantes desertaron de los cursos antes del término del semestre, y ninguno después del término, así que se tuvo un índice de retención del 7.2%). De este modo, este índice (azul) muestra el incremento racional porcentual en la evaluación final respecto al PIU en una escala entre -1 y 1, donde un número negativo indica una mejora debajo de la del grupo. El índice se acompaña de un *índice de aprobación* (rojo), que vale -1 para una calificación de 0, 1 para una de 10 (en escala de 1 a 10) y 0 para una calificación de 7 (que es el mínimo aprobatorio). Los estudiantes se ordenaron con base al primer índice para el curso de Matemáticas I. En este último curso, se muestra que existió una mejora sustancial en el resultado de los dos exámenes, pero en muchos de estos casos no se logró la aprobación (esto habla de los bajos resultados iniciales y de la limitación para llevar a los estudiantes a ser competentes en esta área), aspecto que no se observa así en Física I, en donde se mejoró y aprobó. Para los estudiantes que aprobaron en Matemáticas I, la mejora aparece por debajo de la media debido a que la misma se concentró en los estudiantes con peor desempeño inicial. En Física I se observan excelentes resultados.

En relación a la evaluación continua del curso, la gráfica 5 muestra cómo el grupo se desempeñó en este sentido. Las calificaciones promedio obtenidas para cada examen, tareas y ABP se muestran en ella, observándose una tendencia a la mejora corroborada por el precedente resultado.

5. Evaluación de las competencias básicas finales

Uno de los aspectos finales importantes para evaluar no ya a los alumnos, sino a la metodología empleada así como a las acciones emprendidas, consistió en evaluar las competencias básicas desarrolladas en cada curso (Escamilla, 2008; Oliver, 2007; Colom, 2002). Los logros cognitivos alcanzados por el grupo de alumnos en diferentes aspectos genéricos se muestran en la figura 6 a través de la composición promedio del dominio de cada uno de ellos, evaluando quién respondió correctamente las preguntas correspondientes, tuvo errores significativos o no respondió inclusive. Nuevamente se observan resultados satisfactorios en Física I, pero no así en Matemáticas I, primordialmente hacia lo que corresponde a la introducción al cálculo. Lo anterior parece mostrar cierta relación con la recurrencia y asistencia a asesoría para estos temas en concreto. Llama la atención que el comportamiento de las evaluaciones y tareas finales no muestran este comportamiento.

Algunas observaciones notorias en este punto son que desde la percepción del titular del curso, los alumnos continuamente manifestaron que se les facilitaba más el curso de Matemáticas que el de Física, dado que no todos podían visualizar cómo razonar un problema y aplicarlo utilizando los temas de Matemáticas. Esto puede interpretarse en la figura 6 como un relativamente buen desempeño en Matemáticas a lo largo del curso (salvo por la parte final que normalmente comprende temas con un nuevo enfoque hacia el cálculo), comparado con uno menor en Física. Esta es una situación relativamente común, los estudiantes normalmente han estado más tiempo expuestos a los conceptos matemáticos que a los físicos a lo largo de sus vidas académicas, y la percepción de sentirse en un terreno más conocido dentro

del área de Matemáticas que el de la Física, prevalece en virtud de que en la Física es necesaria la reconstrucción de una serie de elementos matemáticos a partir de una situación realista.

Hay que enfatizar que no todos los estudiantes acreditaron ambas materias y que, principalmente, quienes reprobaron, son alumnos que tienen carencias en conceptos elementales. De los alumnos que reprobaron Matemáticas hay al menos un 10% que declaró al ingreso sobre su bajo nivel académico, y que tuvieron dificultades con el manejo algebraico básico a través del curso.

6. Conclusiones

Uno de los autores comenzó a trabajar mediante la integración curricular hace más de una década. Esta experiencia ha permitido observar los resultados positivos en el reforzamiento del aprendizaje. Ello permitió, en parte, la conformación del modelo *Principia* (Delgado, 2000), pero la participación en otras experiencias como ésta ha dejado ver que puede ser aplicada bajo diversos esquemas y necesidades.

Una de las bondades añadidas por la integración curricular, fue que al requerir un tema en el área de Física explicado en Matemáticas, se podía trabajar también con la misma notación, permitiendo que los alumnos no se confundieran debido a estas diferencias normalmente presentes en cursos separados. Adicionalmente, el material, tanto en Matemáticas como en Física se revisó cada semana para que se acoplara a los siguientes temas o inquietudes detectadas en los alumnos. Así por ejemplo, en Matemáticas se podía trabajar con la solución de un sistema de ecuaciones, en tanto que en Física este se usaba como herramienta para resolver una parte o todo un ejercicio, como en el caso del tema de Estática dentro del ámbito de las leyes de Newton. Aspectos similares se presentaron en ambas materias.

Así, la integración curricular muestra bondades bajo diversas circunstancias y esto se puede aplicar tanto para estudiantes de alto desempeño (Delgado, 2008) como para la situación de nivelación de conocimientos presentada en este trabajo. No es la postura presente concluir que la integración curricular en Matemáticas y Física es universalmente valiosa, dado que cada curso tiene conceptos válidos propios e independientes, lo cual es reconocido por los autores, pero sí mostrar que ésta puede dar resultados positivos cuando se introduce adecuadamente programada en los cursos de ingeniería.

7. Figuras

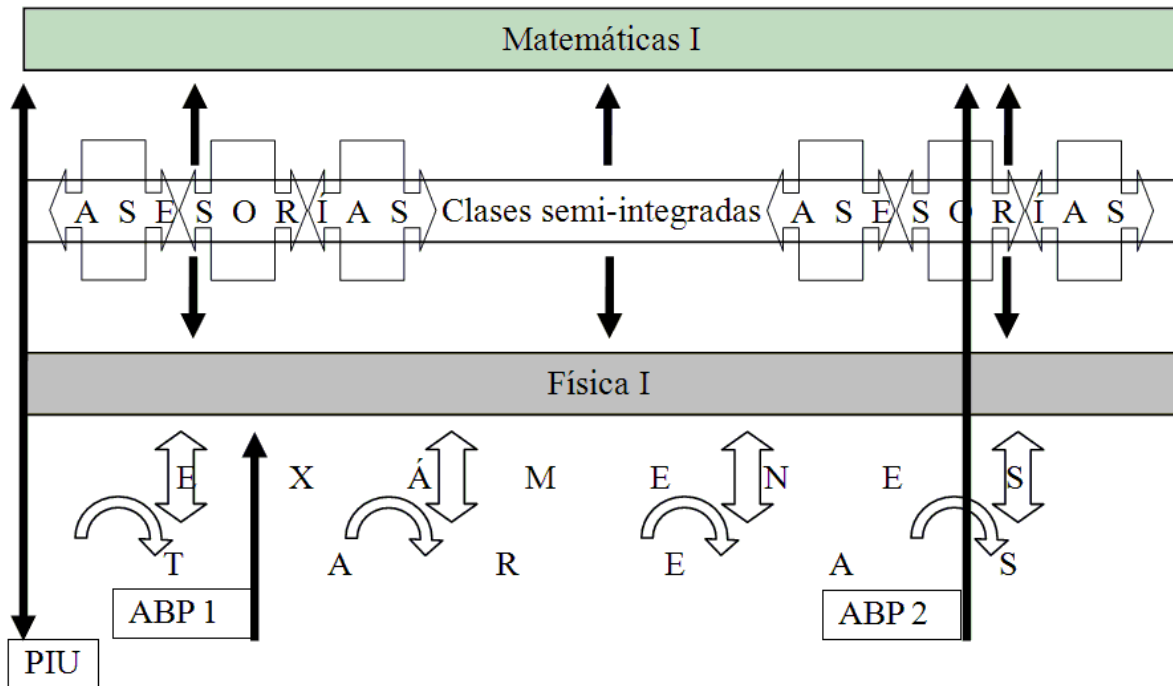
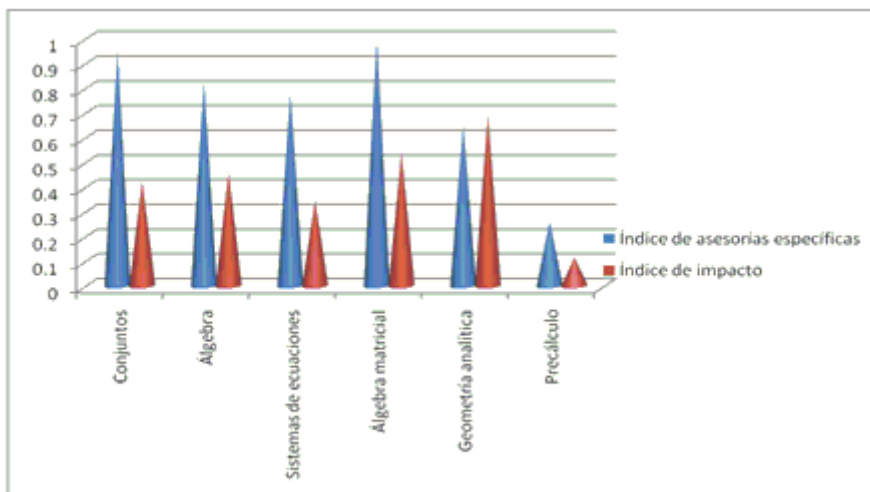
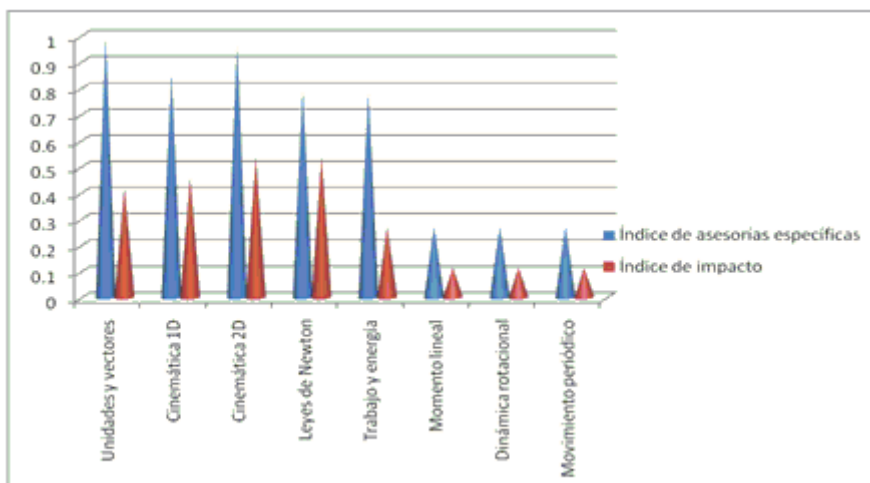


Figura 1: modelo pedagógico de los cursos, desde el punto de vista operativo como evaluativo. La integración parcial de contenidos del curso permitió reforzar significados conceptuales en ambos. Las sesiones de asesoría cuidaron el desarrollo de competencias básicas y puntuales, así como del reforzamiento de comprensión y aprehensión de conceptos. La evaluación PIU permitió establecer una línea base para los cursos y la metodología. Los exámenes parciales por área evaluaban las competencias adquiridas en cada curso y desarrolladas en forma individual mediante la práctica de las tareas. Los escenarios de ABP plantearon la evaluación de la adquisición del pensamiento complejo y competencias cognitivas o de alto nivel.

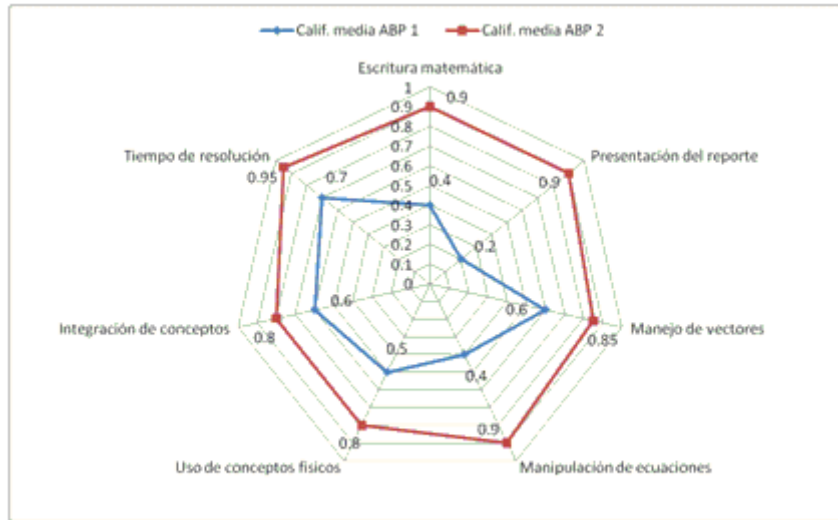


a)

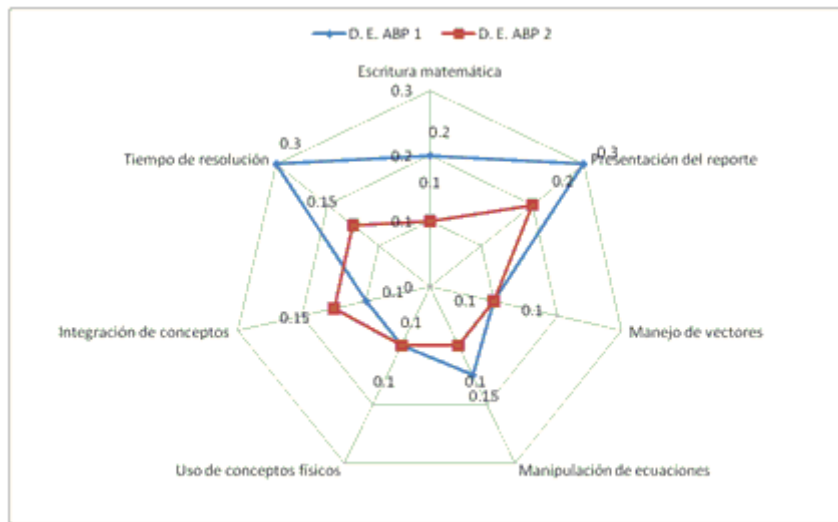


b)

Figura 2: gráficas de las asesorías específicas semanales por tema consultado, así como el grado de cobertura en relación al total del grupo de estudiantes. a)/Matemáticas I. b)/Física I.

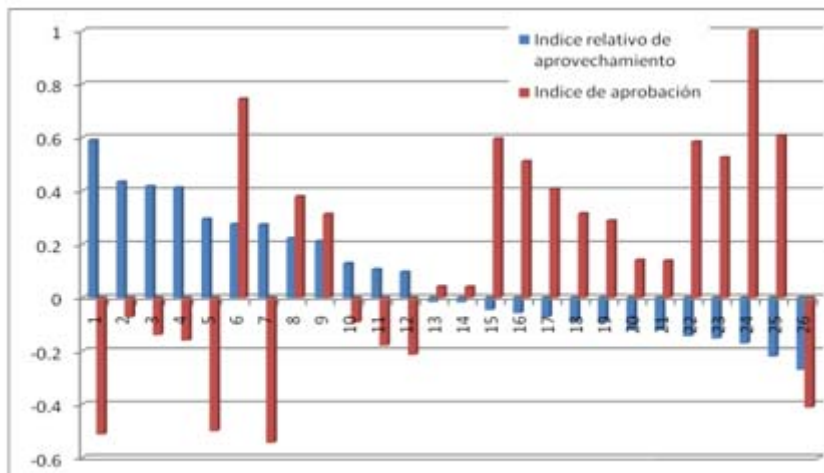


a)

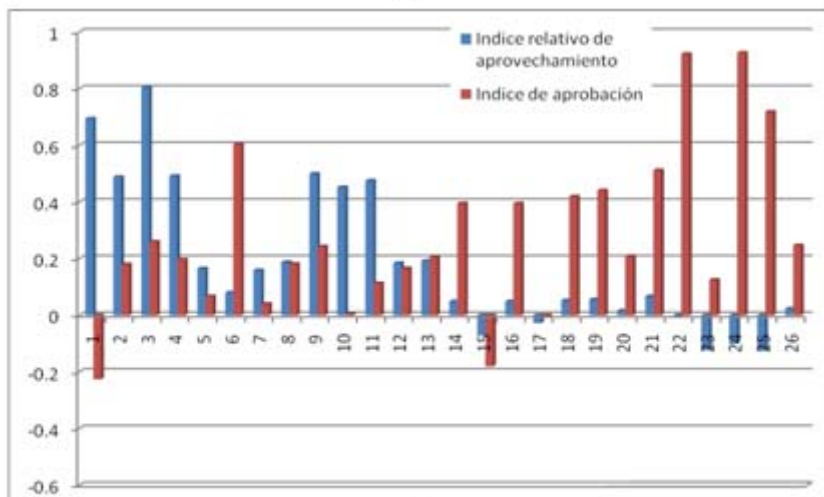


b)

Figura 3: gráficas de desempeño de las dimensiones cognitivas de las actividades de ABP, observando un mejor desempeño y concordancia. a) Desempeño promedio de los alumnos del grupos en escala de 0 a 1. b) Desviación estándar de las calificaciones de los alumnos en cada dimensión.

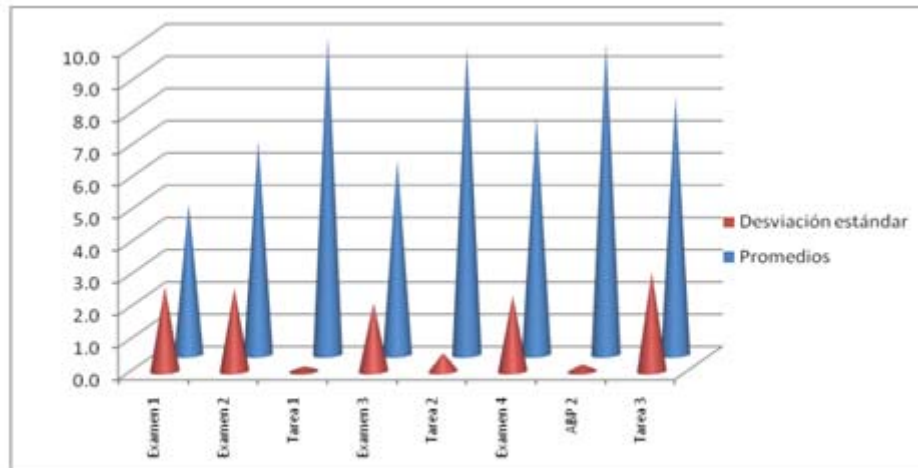


a)

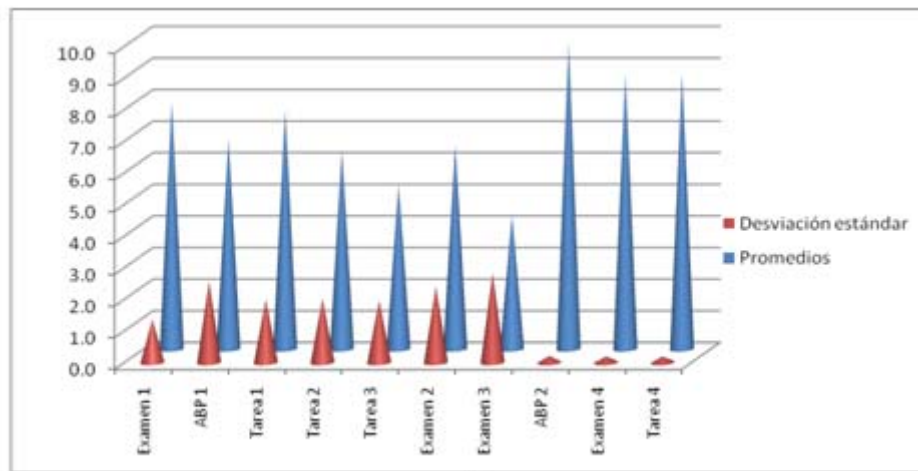


b)

Figura 4: gráficas de índices relativos de aprovechamiento entre las evaluaciones finales y el resultado por área del PIU. El índice marca el grado de avance respecto de su resultado previo (azul) pero en relación a la media del grupo. La gráfica se acompaña del índice de aprobación, que es positivo para quienes aprobaron y negativo para quienes no lo hicieron (rojo). El resultado se muestra para cada uno de los 26 estudiantes que permanecieron en el curso. a) Matemáticas I. b) Física I.

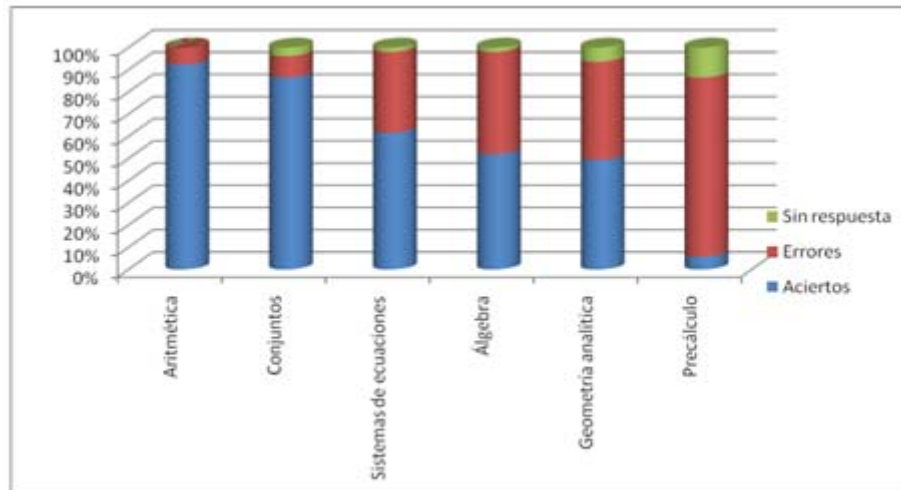


a)

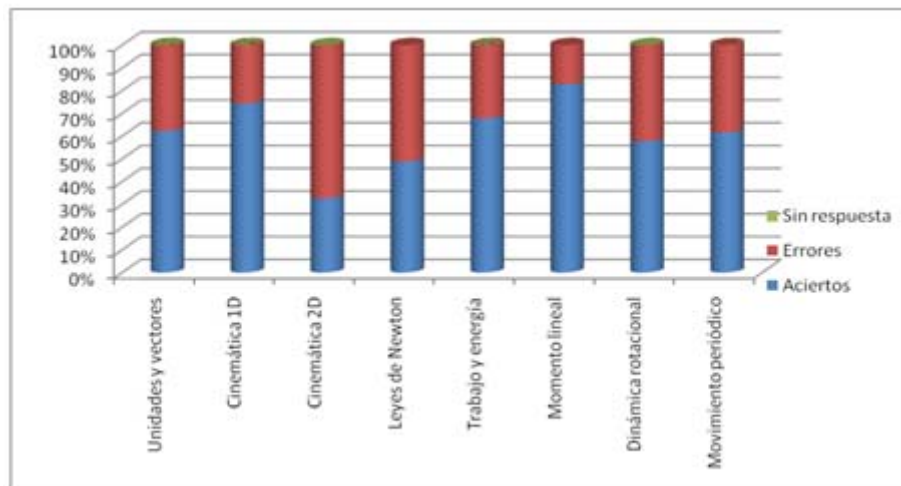


b)

Figura 5: gráficas de desempeño de las diferentes evaluaciones de cada curso en escala de 0 a 10, incluyendo su dispersión. a) Matemáticas I. b) Física I.



a)



b)

Figura 6: gráficas de los resultados por tema en los exámenes finales, mostrando la composición del porcentaje de aciertos, de errores y de preguntas sin responder. a/Matemáticas I. b/Física I.

Bibliografía

- ARTIGUE, Michele y DOUADY, Regine (1995): *Ingeniería didáctica en educación matemática*. México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- BRICEÑO, Jenny y COIMAN, Rosa (2008): *Trabajo cooperativo y sus principios*. México: PMG.
- CAMPIRÁN, S. A. F., GUTIÉRREZ, C. I., DOMINGO, M. R., MONTFORT, G. F., CHAMA, B. L., LANDGRAVE, B. R. G. (2005): *Complejidad y transdisciplina: acercamientos y desafíos*. México: Editorial Torres Asociados.
- CLARK, C. M. & YINGER, R. J. (1979): "Three Studies on Teacher Planning". *The Institute for Research on Teaching*, núm. 55, pp. 127-134. East Lansing, USA: Michigan State University.
- COLOM, J. A. (2002): *La (de)construcción del conocimiento pedagógico. Nuevas perspectivas en teoría de la educación*. España: Paidós.
- D'ANGELO, O. (2008): *La complejidad y la educación integradora y desarrolladora: el currículo PVAI*. La Habana, Cuba: Centro de Investigaciones Psicopedagógicas y Sociológicas.
- DELGADO, Francisco (2005): "Problem Based-Learning in Sophomore and Freshmen Engineering Students: A Six Year Follow-Up". *Proceedings of 4th Conference of European Research in Mathematics Education*. St. Feliu de Guixols, España: CMR.
- DELGADO, Francisco (2008): "Designing PBL scenarios for a course with integrated curriculum, teamwork environment and use of technology". *Proceedings of 10th International Conference of Mathematical Education*. Monterey, México: UANL.
- ESCAMILLA, Amparo (2008): *Las Competencias Básicas. Claves y propuestas para su desarrollo en los centros*. Barcelona, España: Garó.
- LIPMAN, Matthew (1997): *Pensamiento Complejo y Educación*. Madrid, España: Ediciones de la Torre.
- MORIN, Edgar (1999): *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Barcelona, España: Paidós.
- OLIVER, V. C. (2007): La evaluación desde la complejidad: una nueva forma de evaluar. *Encuentros multidisciplinares 9*, núm. 25, pp. 47-57.
- POLANCO, Rodrigo, CALDERÓN, Patricia & DELGADO, Francisco (2000): "Effects of a Problem-based Learning program on engineering students' academic achievement, skills development and attitudes in a Mexican university". *Proceedings of the 82nd Annual Meeting of the American Educational Research Association*. Seattle, USA: AERA.
- RODRÍGUEZ, Sebastián (2004): *Manual de tutoría universitaria. Recursos para la acción*. Barcelona: Octaedro-ICE.
- RUGARCÍA, A. (1994): *La formación de ingenieros*. México: Universidad Iberoamericana Golfo Centro.
- SCHÖN, Donald (1998): *El profesional reflexivo. ¿Cómo piensan los profesionales cuando actúan?* Barcelona, España: Paidós.
- TOOMEY, R. (1997): "Teachers Approaches to Curriculo Planning". *Currículo Inquiry* 7, pp. 121-129.