

EL PROCESO PARA DISEÑAR UN TEST CON OPCIONES MÚLTIPLES EN EL ÁREA DE LA EDUCACIÓN DE LAS CIENCIAS NATURALES: EL CASO DE VECTORES

PABLO BARNIOL

*GRUPO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN ENSEÑANZA DE LA FÍSICA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS, TECNOLÓGICO DE MONTERREY,
MONTERREY, MÉXICO*

GENARO ZAVALA

*GRUPO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN ENSEÑANZA DE LA FÍSICA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS, TECNOLÓGICO DE MONTERREY,
MONTERREY, MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO, SANTIAGO, CHILE*

TEMÁTICA GENERAL: EDUCACIÓN EN CAMPOS DISCIPLINARES

RESUMEN

En este trabajo se presenta de manera detallada el proceso de diseño de un examen con preguntas de opciones múltiples que evalúa el entendimiento de los conceptos vectoriales. Con esto, se cubre una necesidad que existe en el área de la educación de las ciencias naturales de contar con una descripción de la construcción de exámenes de opción múltiple. El proceso de diseño está dividido en tres etapas: (1) diseño de problemas de opciones múltiples, (2) etapa centrada en el examen preliminar con opciones múltiples, y (3) etapa centrada en el examen definitivo con opciones múltiples. La primera etapa se ejemplifica con el diseño específico del problema de resta de vectores en dos dimensiones. Por otra parte, la segunda y la tercera parte se basan principalmente en el análisis de la confiabilidad y el poder discriminativo de los exámenes. La descripción detallada del proceso de diseño tiene gran valor para investigadores que deseen diseñar exámenes con opciones múltiples que cumplan con los requisitos del área de la educación de las ciencias naturales.

Palabras clave: vectores, test con opciones múltiples, proceso de diseño, análisis de confiabilidad, análisis de poder discriminatorio.

INTRODUCCIÓN

Los exámenes con preguntas de opciones múltiples son muy valorados en el área de la educación de las ciencias naturales, ya que son muy útiles para evaluar el aprendizaje conceptual de una población grande de estudiantes y el análisis estadístico de los datos recabados permite una mayor generalización de los hallazgos (Redish, 1999). Estos exámenes deben cumplir con un proceso de diseño adecuado (Beichner, 1994) y con pruebas estadísticas de confiabilidad y poder discriminatorio (Ding et al., 2006). A pesar de que varios exámenes con estas características han sido diseñados en el pasado, actualmente no existe en el área una descripción detallada del proceso para diseñar un examen de este tipo utilizando un caso concreto para especificar cada uno de los pasos del proceso de diseño. Este trabajo intenta cubrir esta necesidad específica.

Para esto, los autores del presente trabajo utilizan el proceso que siguieron para diseñar un test que evalúa el entendimiento en la representación vectorial y que fue publicado en el pasado (Barniol y Zavala, 2014). La descripción de este proceso no fue detallada en la publicación anterior y esta descripción, que es precisamente el objetivo del presente trabajo, tiene gran valor para investigadores que deseen diseñar exámenes con opciones múltiples en el área.

DESARROLLO

Marco teórico

Se han diseñado varios exámenes de opción múltiple para evaluar el entendimiento conceptual: en física (por ejemplo, Hestenes et al., 1992), matemática (Barniol y Zavala, 2014), química (Mulford y Robinson, 2002) y biología (Anderson et al., 2002). Para el diseño de estos exámenes, varios investigadores como Beichner (1994) han establecido la necesidad de que en la construcción de los distractores de cada problema (opciones incorrectas) se consideren los resultados obtenidos de la implementación de problemas abiertos para así asegurar que las dificultades más frecuentes que existen en los estudiantes se encuentren representadas en estos distractores. Los problemas diseñados en el área usualmente cuentan con cuatro distractores. Por otra parte, otros investigadores como Ding et al. (2006) han enfatizado en la importancia que tiene la evaluación estadística de la confiabilidad y el poder de discriminación de los exámenes con opción múltiple.

Descripción general del proceso de diseño del examen con opciones múltiples

En este apartado se presenta una descripción general del proceso que se siguió para diseñar el examen que evalúa el entendimiento en la representación vectorial. El proceso está dividido en tres etapas. En la Figura 1 se muestra un diagrama de flujo del proceso.

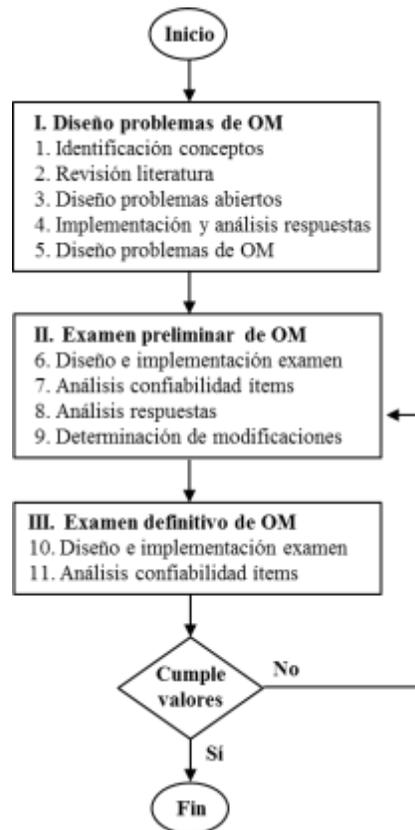


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de tres etapas para diseñar un examen con preguntas de opciones múltiples (OM).

A continuación se presenta un esquema del proceso.

Proceso de diseño:

Primera etapa: Diseño de problemas de opción múltiples

1. Identificación de los conceptos a evaluar en el examen.
2. Revisión de literatura enfocada en las dificultades detectadas en estudios previos para cada uno de los conceptos a evaluar en el examen.
3. Diseño de problemas abiertos considerando los estudios previos. En caso de que no existan estudios previos en algunos conceptos a evaluar, entonces diseñar preguntas abiertas en base a la experiencia.
4. Implementación y análisis de los problemas abiertos para realizar una taxonomía completa de los errores más frecuentes de los estudiantes en los conceptos a evaluar.
5. Diseño de problemas de opción múltiples considerando los resultados obtenidos en los problemas abiertos.

Segunda etapa: Etapa centrada en el examen preliminar con opciones múltiples

6. *Diseño e implementación del examen preliminar con opciones múltiples tomando los problemas diseñados en la primera etapa.*
7. *Análisis de la confiabilidad y del poder discriminatorio del examen preliminar.*
8. *Análisis de la distribución de frecuencia de las respuestas en cada uno de los ítems.*
9. *Determinación de modificaciones para el examen.*

Tercera etapa: Etapa centrada en el examen definitivo con opciones múltiples

10. *Diseño e implementación del examen definitivo con opciones múltiples.*
11. *Análisis de la confiabilidad y del poder discriminatorio del examen definitivo y decisión final de si el examen definitivo cumple con los valores recomendados para estos análisis.*

(Nota: De no cumplirse los valores recomendados se deben repetir los pasos 8, 9 y la tercera etapa hasta que se cumplan. Si no existen estudios previos sobre entendimiento conceptual en algunos temas, este ciclo puede repetirse en varias ocasiones.)

En una sección posterior se describirá de manera detallada como se siguieron estos once pasos para diseñar el examen que evalúa el entendimiento en la representación vectorial.

Metodología

La investigación se realizó en una universidad privada de México. Los problemas abiertos, el examen preliminar y el examen definitivo con opciones múltiples fueron implementados con estudiantes que terminaban el curso de Electricidad y Magnetismo, el cual es el último curso de física introductoria que llevan los estudiantes. Los problemas abiertos fueron implementados en un período de dos años a una población total de 2067 estudiantes. En cada administración se implementaron sólo algunos problemas abiertos. Los resultados de estas implementaciones fueron reportados en estudios previos (por ejemplo, Barniol y Zavala, 2009). El examen preliminar de 21 problemas con opciones múltiples fue implementado con 84 estudiantes y el examen definitivo de 20 problemas con opciones múltiples fue implementado con 585 estudiantes.

Análisis de confiabilidad y poder discriminatorio de un examen con opciones múltiples

Antes de detallar el proceso de diseño se describe el análisis de confiabilidad y poder discriminatorio establecido por Ding et al. (2006). En este análisis se realizan cinco pruebas estadísticas y serán utilizadas en la segunda y la tercera etapa del proceso.

Pruebas de análisis individual por ítem

El índice de dificultad (P) es el cociente de respuestas correctas obtenidas por ítem entre la cantidad de estudiantes que realizaron el ítem. El rango recomendado es [0.3, 0.9]. El índice de discriminación (D) es una medida del poder de discriminación que tiene cada ítem del test. Se utilizó el método 50%-50%, el cual cuenta el número de estudiantes que respondieron correctamente en el

50% más alto y más bajo. Se recomienda que el índice de discriminación sea mayor o igual que 0.3. El coeficiente de punto biserial (r_{pbs}) es una medida de la consistencia de un ítem con todo el test. Se recomiendan que el valor sea mayor o igual que 0.2.

Índice Kuder-Richardson y Delta de Ferguson

El índice Kuder-Richardson es una medida de la consistencia de todo el test. El criterio aceptado para este índice es mayor a 0.7. La delta de Ferguson es una medida del poder discriminatorio de un test que investiga qué tan ampliamente están distribuidas las calificaciones. El criterio recomendado para este valor es mayor a 0.9. (Para conocer con mayor detalles sobre los cálculos en estas pruebas se recomienda consultar el estudio de Ding et al. (2006)).

Proceso de diseño del examen que evalúa el entendimiento de la representación vectorial

En esta sección se describe el proceso de diseño del examen con opciones múltiples que evalúa el entendimiento de los conceptos vectoriales. Se presentan por separado cada una de las tres etapas.

Primera etapa: Diseño de problemas de opción múltiples (Ejemplo con problema de resta de vectores en dos dimensiones)

A continuación se detallan los cinco pasos de esta primera etapa.

1. Identificación de los conceptos a evaluar

Para el caso específico del examen de vectores, en este paso se identificaron los diez conceptos u operaciones vectoriales que debían ser incluidos en la evaluación del examen (ver Tabla 1). Este paso se ejemplifica de manera concreta con la operación de resta de vectores. A la hora de identificar los conceptos a evaluar en el examen de vectores se constató que la operación de resta de vectores era muy utilizada en los cursos universitarios introductorios de ciencias.

2. Revisión de literatura enfocada en las dificultades detectadas en estudios previos

Para el caso específico del examen de vectores, se realizó una revisión de literatura enfocada en las dificultades detectadas por los estudios previos en cada uno de los diez conceptos u operaciones vectoriales identificados en el primer paso. Esta revisión está sintetizada en la Tabla 1 en donde se identifican los estudios previos que analizan las dificultades de los estudiantes en cada concepto u operación vectorial.

Tabla 1

Estudios que analizan las dificultades de los estudiantes en cada concepto vectorial.

Concepto u operación vectorial	Estudio previo relacionado
1. Dirección de un vector	Nguyen y Meltzer (2003)
2. Magnitud de un vector	Nguyen y Meltzer
3. Componente de un vector	Van Deventer (2008)
4. Vector unitario	Hinrichs (2010)
5. Representación gráfica de un vector	Ninguna
6. Suma de vectores	Nguyen y Meltzer, Flores-García et al. (2007), Van Deventer
7. Resta de vectores	Flores-García et al., Van Deventer
8. Multiplicación por escalar	Van Deventer
9. Producto punto	Van Deventer
10. Producto cruz	Van Deventer

Este paso también se ejemplifica con la operación de resta de vectores. Como se observa en la Tabla 1, dos estudios identifican las dificultades que tienen los estudiantes en esta operación.

3. Diseño de problemas abiertos considerando los estudios previos

Este paso también se ejemplifica con el problema que evalúa la operación vectorial de resta de vectores en dos dimensiones. El problema diseñado se muestra en la Figura 2. Nótese que se optó por usar una cuadrícula siguiendo el trabajo de Nguyen y Meltzer (2003). Se enfatiza que si no existen estudios previos, se tienen que hacer estos problemas basándose en la experiencia y empezar a hacer investigación.

Abajo se muestran los vectores \vec{A} y \vec{B} . En la cuadrícula provista dibuje el vector resta \vec{T} , tal que $\vec{T} = \vec{A} - \vec{B}$. Muestre claramente el procedimiento para encontrar este vector resta y etiquételo como \vec{T} .

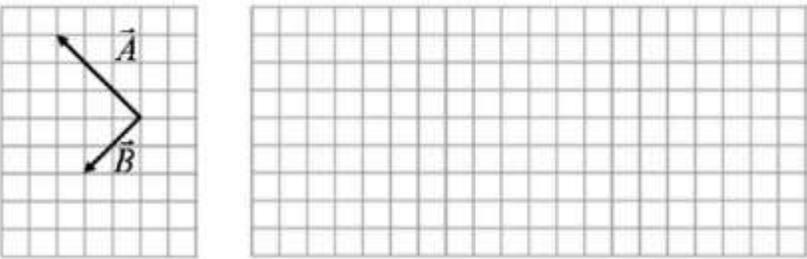


Figura 2. Problema abierto diseñado para evaluar la resta de vectores en dos dimensiones.

4. Implementación y análisis de los problemas abiertos para realizar una taxonomía de los errores más frecuentes

Para el caso específico del examen de vectores, se realizó una taxonomía de los errores más frecuentes. Este paso también se ejemplifica con el problema de resta de vectores. El problema de la Figura 2 fue implementado con 137 estudiantes. En la Tabla 2 se muestran los porcentajes de las respuestas identificando los errores, y en la figura 3 se muestran estos errores de manera gráfica. (Nótese que por cuestiones de espacio no es posible describir de manera detallada estos errores).

Tabla 2

Porcentajes de las respuestas del problema abierto de resta de vectores.

Vector resta	%
Correcto	36%
Confusión vectores opuestos	12%
Punta con punta (abajo) o Voltea B y cerrando el ciclo	10%
Vector suma o Voltea B y punta con punta (izquierda)	9%
Bisector Vertical	7%
Bisector Horizontal	6%
No contesta	3%
Otros	17%

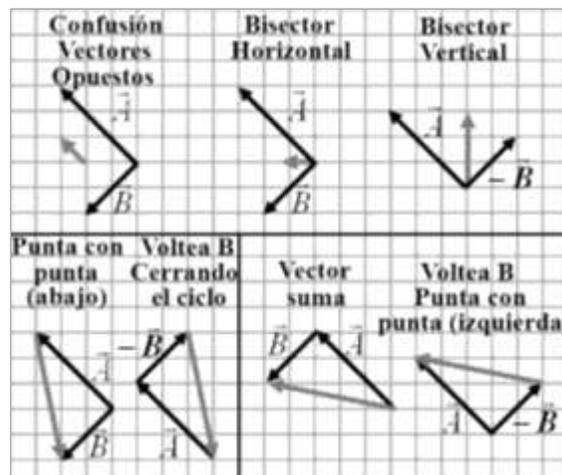


Figura 3. Cinco errores más comunes en el problema abierto de resta de vectores. Nótese que en los dos errores de abajo se muestran los dos posibles procedimientos incorrectos que llevan al mismo error.

5. Diseño de problemas de opción múltiples

Este paso también se ejemplifica con el problema para la resta de vectores. A partir de los resultados presentados anteriormente se diseñó el problema de opción múltiple asociado que se muestra en la figura 4.

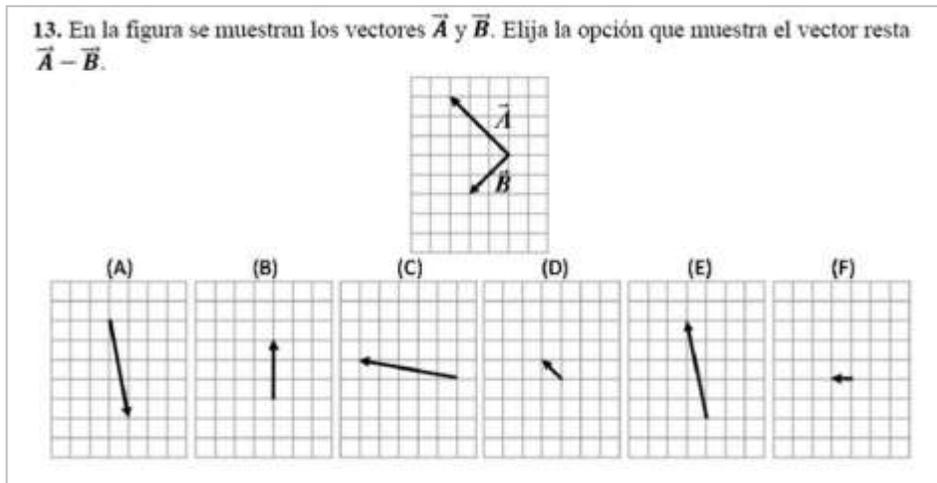


Figura 4. Problema con opciones múltiples del examen preliminar para evaluar la resta de vectores.

Como se observa en la Tabla 2 el quinto error más frecuente “Bisector horizontal” (6%) tienen un porcentaje muy similar al cuarto error más frecuente “Bisector vertical” (7%). Debido a esto, se decidió diseñar un problema con seis opciones: cinco opciones incorrectas que corresponden a los cinco errores detectados en el problema abierto, y una opción correcta. Nótese que al tomar esta decisión, se diseñó un problema con una opción más de lo que es recomendado en el área. En la siguiente etapa se explicará cómo se modificó este problema para que contara con las cinco opciones recomendadas en la versión definitiva del examen.

Segunda etapa: Etapa centrada en el examen preliminar con opciones múltiples

6. Diseño e implementación del examen preliminar con opciones múltiples

En la sección anterior se ilustró el procedimiento que se siguió para diseñar el problema con opciones múltiples para la resta de vectores. Este mismo procedimiento se siguió para diseñar problemas que evaluaban los diez conceptos vectoriales. Tomando estos problemas se diseñó un examen preliminar de opciones múltiples con 21 problemas. En la Tabla 3 se presenta una descripción

de estos problemas. Es importante mencionar que algunos problemas fueron diseñados con seis opciones como se mostró para el problema de resta de vectores.

Tabla 3

Descripción del examen preliminar y del examen definitivo. (En el examen definitivo el problema 20 fue cambiado completamente y el problema 21 no fue incluido.)

Concepto u operación	Núm.	Descripción del problema
Dirección	5	Elección gráfica de vectores con la misma dirección
	17	Cálculo de la dirección de vector escrito en vectores unitarios
Magnitud		<i>En examen preliminar:</i> Elección gráfica de vectores con la misma magnitud
	20	<i>En examen definitivo:</i> Cálculo de magnitud de vector escrito en vectores unitarios
Representación gráfica	10	Representación de vector escrito en notación de vectores unitarios
Componente	9	Representación gráfica de la componente y
	4	Representación gráfica de la componente x
	14	Cálculo de magnitud de la componente en x
Vector unitario	2	Representación gráfica de un vector unitario
Suma	(21)	Representación gráfica de vector suma en 1D (<i>no se incluye en la versión definitiva</i>)
	1	Representación gráfica de vector suma en 2D
	7	Comparación de la magnitud del vector suma de dos vectores, con misma magnitud a 90° , con la magnitud de uno de los vectores
	16	Comparación de la magnitud del vector suma de dos vectores, con misma magnitud a 143.13° , con la magnitud de uno de los vectores
Resta	13	Representación gráfica de vector resta en 2D
	19	Representación gráfica de vector resta en 1D
Multiplicación por escalar	11	Representación de la multiplicación de un vector por escalar negativo
Producto punto	3	Interpretación geométrica del producto punto como proyección
	6	Cálculo de producto punto como $AB\cos\theta$
	8	Cálculo del producto punto de vectores escritos en vectores unitarios
Producto cruz	12	Interpretación del producto cruz como vector perpendicular
	15	Cálculo del producto cruz de vectores escritos en vectores unitarios
	18	Cálculo de la magnitud del producto cruz como $AB\sin\theta$

7. Análisis de la confiabilidad y del poder discriminatorio del examen preliminar

En este paso se presenta el análisis de confiabilidad y poder discriminatorio que se realizó del examen preliminar.

Tabla 4

Índice de dificultad (P), ítem de discriminación (D) y coeficiente punto-biserial (r_{pbs}) para los problemas del examen preliminar.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1									
77	12	27	93	89	68	81	51	90	87	90	76	50	74	68	68	50	54	70	76	98	
26	14	26	14	02	31	24	40	19	26	19	24	52	24	45	40	33	31	45	05	05	
r_{pbs}	39	34	45	45	25	37	36	52	62	36	48	37	60	33	45	55	47	41	54	11	22

En la Tabla 4 se muestran los índices de dificultad de cada problema. Se observa que dos problemas (Problema 2: 0.12 y el Problema 21: 0.98) tienen valores que se alejan de manera considerable de los valores recomendados ([0.3, 0.9]). La tabla muestra también los índices de discriminación de cada problema. Se observa que tres problemas se alejan de manera considerable del valor recomendado (≥ 0.3), con valores menores a 0.1 (Problemas 5, 20 y 21). Además, se muestran los coeficientes de punto biserial de cada problema. Se observa que sólo un problema del examen (Problema 20) presenta un valor muy por fuera del rango recomendado (≥ 0.2). Por último, en la Tabla 5 se muestra el resumen de las cinco pruebas estadísticas. Como se observa el único valor que no cumple con lo recomendado es el índice de discriminación promedio.

Tabla 5

Resumen de pruebas estadísticas realizadas en el examen preliminar.

Prueba estadística	Valores deseado	Examen preliminar
Índice de dificultad	[0.3, 0.9]	Promedio 0.69
Índice de discriminación	≥ 0.3	Promedio 0.26
Coficiente punto biserial	≥ 0.2	Promedio 0.41
Índice Kuder-Richardson	≥ 0.7	0.76
Delta de Ferguson	> 0.9	0.95

8. Análisis de la distribución de frecuencia de las respuestas en cada uno de los ítems

Después de realizar el paso 7, se analizó la distribución de frecuencia de las respuestas en cada uno de los problemas para determinar cómo se comportaban las respuestas incorrectas de cada uno éstos. Este paso se ejemplifica con el problema para la resta de vectores como se hizo en los pasos de la primera etapa. En la Figura 4 se muestra el problema y en la Tabla 6 se muestra la distribución de frecuencia de las respuestas para este problema.

Tabla 6

Porcentajes de las respuestas del problema con opciones múltiples del examen preliminar para evaluar la resta de vectores.

Opción	Descripción de la opción	%
A	Punta con punta (abajo) o Voltea B y cerrando el ciclo	10%
B	Bisector Vertical	1%
C	Vector suma o Voltea B y punta con punta (izquierda)	5%
D	Confusión vectores opuestos	30%
E	Respuesta correcta	50%
F	Bisector Horizontal	5%

A continuación se analiza la distribución de frecuencia de las respuestas incorrectas en el problema. Como se observa de la Tabla 6, cuatro de las cinco respuestas incorrectas (A, C, D y F) se comportan de manera adecuada ya que son mayores o iguales al 5% de selección, mientras que sólo una (B) no se comporta de manera adecuada ya que tiene un porcentaje de sólo un 1%. En el siguiente apartado se presentarán las modificaciones sugeridas para este problema.

9. Determinación de modificaciones para el examen

A partir de los análisis realizados en los pasos 7 y 8 se determinaron modificaciones para el examen preliminar. A partir del análisis del paso 7, se determinaron modificaciones generales para el examen. Específicamente se establecieron los ítems que deben ser removidos del examen. Como se observa de los análisis del índice de dificultad, del índice de discriminación y del coeficiente de punto biserial, existen dos ítems que muestran valores muy por alejado del rango en dos de estos tres análisis (Problemas 20 y 21). Debido a esto, se decidió no incluir estos dos problemas en el examen definitivo.

Además, se decidió añadir un nuevo Problema 20 en el examen definitivo, que evaluara de otra manera el concepto de magnitud, ya que si se eliminaba el problema 20 del examen preliminar, el examen ya no contaba con un problema que evaluara el concepto de magnitud que es uno de los conceptos vectoriales identificados en el primer paso. Se decidió que el nuevo Problema 20 evaluara

el cálculo de la magnitud de un vector escrito en vectores unitarios. Para diseñar este problema se siguieron todos los pasos establecidos en la primera parte del proceso.

Con el análisis del paso 8, se determinó la opción incorrecta que es recomendable eliminar en los ítems que se diseñaron con seis opciones. Esta modificación se ejemplifica con el problema de resta de vectores presentado en el paso 8. Como se mostró en este paso la respuesta incorrecta B no se comporta de manera adecuada ya que sólo un 1% de estudiantes elige esta respuesta. Debido a esto se decidió eliminar esta opción en el problema de la versión definitiva. Este procedimiento se siguió para todos los ítems diseñados con seis opciones.

Tercera etapa: Etapa centrada en el examen definitivo con opciones múltiples

10. Diseño e implementación del examen definitivo con opciones múltiples

A partir de las modificaciones establecidas en el paso 7 se diseñó el examen definitivo. La descripción de este examen se muestra en la Tabla 3. Nótese que la gran mayoría de los ítems de este examen tienen la misma forma que los ítems del examen preliminar.

11. Análisis de la confiabilidad y del poder discriminatorio del examen definitivo y decisión final

En este paso se realizó el mismo análisis que en el paso 7 pero para el examen definitivo.

Tabla 7

Índice de dificultad (P), ítem de discriminación (D) y coeficiente punto-biserial (r_{pbs}) para los problemas del examen definitivo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P	.6	.3	.3	.8	.8	.7	.7	.4	.8	.9	.6	.4	.4	.7	.5	.6	.5	.5	.5	.7
	4	9	8	0	4	7	6	7	5	1	8	9	9	0	9	0	0	9	8	9
D	.4	.4	.3	.2	.1	.3	.3	.3	.2	.1	.3	.4	.5	.3	.3	.4	.3	.4	.4	.2
	4	0	0	7	7	0	3	8	5	4	1	5	3	3	7	2	1	6	2	7
r_{pbs}	.5	.5	.3	.3	.3	.4	.4	.4	.4	.3	.4	.5	.6	.4	.4	.5	.3	.5	.5	.4
	4	0	8	9	4	1	6	6	5	6	2	0	0	2	8	1	8	0	1	5

Tabla 8

Resumen de pruebas estadísticas realizadas en el examen definitivo.

Prueba estadística	Valores deseado	Examen definitivo
Índice de dificultad	[0.3, 0.9]	Promedio 0.64
Índice de discriminación	≥ 0.3	Promedio 0.34
Coeficiente punto biserial	≥ 0.2	Promedio 0.45
Índice Kuder-Richardson	≥ 0.7	0.80
Delta de Ferguson	> 0.9	0.98

De la Tabla 7 se observa que los valores encontrados en los ítems del examen definitivo son de manera general adecuados. Primero se observa que la gran mayoría de los ítems cumple con el rango recomendado para los índices de dificultad y que sólo un ítem (ítem 10: 0.91) se encuentra ligeramente por encima del valor máximo recomendado (0.90). Por otra parte, se constata que ningún ítem presenta un índice de discriminación muy por fuera del rango con un valor menor a 0.1, como sucedía en el examen preliminar. Por último se observa que todos los ítems cumplen con el rango recomendado para el coeficiente punto biserial.

Además de la Tabla 8 se pueden constatar dos puntos muy importantes. El primer punto es que a diferencia del examen preliminar, el examen definitivo cumple con los cinco valores recomendados. El segundo punto es que todos los valores obtenidos en el examen definitivo son más adecuados que los obtenidos en el preliminar. Por último, debido a que el examen definitivo cumple con los valores recomendados se concluye que es instrumento confiable con poder discriminatorio adecuado y se considera que no es necesario realizar modificaciones al examen.

CONCLUSIONES

En este trabajo se cubre la necesidad que existe en el área de la enseñanza de las ciencias naturales de contar con una descripción detallada del proceso de diseño de un examen con preguntas de opciones múltiples que cumpla con las recomendaciones del área. Se considera que esta descripción tiene gran valor para investigadores que deseen diseñar exámenes con estas características. El proceso detallado en este trabajo tiene la gran limitación de que es imposible expresar las diferentes dificultades con las que un investigador se va a enfrentar si acaso se decide a emprender esta tarea. Sin embargo, el proceso es suficientemente claro para que pueda seguirse e ir resolviendo las dificultades una a una.

REFERENCIAS

- Anderson, D., Fisher, K. y Norman, G. (2002). Development and evaluation of the conceptual inventory of natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 952-978.
- Barniol, P. y Zavala, G. (2009). Investigation of students' preconceptions and difficulties with the vector direction concept at a Mexican university. *AIP Conference Proceedings*, 1179, 85-88.
- Barniol, P. y Zavala, G. (2014). Evaluación del entendimiento de los estudiantes en la representación vectorial utilizando un test con opciones múltiples en español. *Revista Mexicana de Física E*, 60, 86-102.
- Beichner, R. (1994). Testing student interpretation of kinematic graphs. *American Journal of Physics*, 62, 750-762.
- Ding, L., Chabay, R., Sherwood, B. y Beichner R. (2006). Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: Brief electricity and magnetism assessment. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2.
- Flores-García, S., González-Quesada, M. y Herrera-Chew, A. (2007). Dificultades de entendimiento en el uso de vectores en cursos introductorios de mecánica. *Revista Mexicana de Física*, 53, 178-185.
- Hestenes, D., Wells M. y Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *Physics Teachers*, 30, 141-158.
- Hinrichs, B. (2010). Writing position vectors in 3-d space: A student difficulty with spherical unit vectors in intermediate E&M. *AIP Conference Proceedings*, 1289, 173-176.
- Mulford, R. y Robinson, W. (2002). An inventory for alternate conceptions among first- semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 79, 739-744.
- Nguyen, N. y Meltzer, D. (2003). Initial understanding of vector concepts among students in introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 71, 630-638.
- Redish, E. (1999). Millikan lecture 1998: Building a science of teaching physics. *American Journal of Physics*, 67, 562-573.
- Van Deventer, J. (2008). *Comparing student performance on isomorphic and physics vector representations*. Tesis de maestría, Universidad de Maine, Estados Unidos.