

Dominio conceptual sobre la termodinámica, óptica, ondas y fluidos de egresados de la licenciatura en Física de la Universidad de Guadalajara



María Elena Rodríguez Pérez¹, Vladimir Camelo Avedoy², Martha Guadalupe Arredondo Bravo³, Abigail Rojas González⁴

¹Centro de Estudios e Investigaciones en Comportamiento, Universidad de Guadalajara, Francisco de Quevedo 180, C.P. 44130, Guadalajara, Jalisco, México.

^{2,3,4}Departamento de Física, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Blvd. Marcelino García Barragán 1421, C.P. 44430, Guadalajara, Jalisco, México.

E-mail: rpm08428@cucba.udg.mx

(Recibido el 31 de marzo de 2017, aceptado el 30 de mayo de 2017)

Resumen

Con el propósito de evaluar el dominio conceptual en diferentes áreas de la física de estudiantes egresados de la Licenciatura en Física de la Universidad de Guadalajara, se elaboró una encuesta y un cuestionario con 14 preguntas tomadas de un libro de física conceptual que se ha empleado como referencia básica en la carrera. Se enviaron correos a los egresados para invitarlos a contestar el cuestionario en línea. Aceptaron la invitación 71 de ellos (aproximadamente 25% de los estudiantes que han egresado desde la creación de la Licenciatura en 1980). Los datos mostraron que los egresados tienen un buen dominio en el área de óptica, un dominio aceptable en el área de ondas y fluidos pero un dominio bajo en el área de termodinámica. Entre las razones de este dominio diferencial se discuten la tendencia de enseñar la termodinámica descontextualizada de su desarrollo histórico y la falta de formación en el modelado de la realidad a partir de conceptos propios de la física.

Palabras clave: Plan de estudios; perfil de egreso; dominio conceptual.

Abstract

In order to evaluate the conceptual domain in different areas of physics of graduated students of the Bachelor in Physics at the University of Guadalajara, a survey and a 14-item questionnaire were prepared. Questions were taken from a conceptual physics textbook which it has been extensively used as a basic reference in introductory courses. Graduated students were invited via e-mail to answer the online questionnaire. Only 71 graduated students accepted to answer the questionnaire which represents approximately 25% of all graduated students since the creation of the Bachelor in 1980. Data showed a good performance on items related with optics, a fair performance on items related with waves and fluids but a poor level on items related with thermodynamics. Among the reasons for this difference on conceptual domains, we can include the tendency of teaching thermodynamics without a reference of its historical development and the lack of skills to model reality based on concepts of physics.

Keywords: Curriculum design; graduate profile; conceptual domain.

PACS: 01.40.-d, 01.40.Fk, 01.40.G-

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Una de las problemáticas de la enseñanza de la física en los niveles medio y medio superior es la visión equivocada que tienen los estudiantes sobre los fundamentos de la física pues consideran que para entenderla basta aprender y aplicar varias fórmulas [1]. Por ello, es importante que los profesores de física adquieran un dominio conceptual que les permita comunicar a otros las razones por las cuales los fenómenos de la naturaleza ocurren de la manera en que lo hacen. Estas razones deberían estar apoyadas en conceptos de física tal y como se entienden en la comunidad científica. Si los profesores dedican más tiempo de *Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 11, No.2, June 2017r*

instrucción al análisis de los conceptos y su aplicación para comprender la naturaleza, esta visión de que “saber” física se reduce a aplicar fórmulas podría contrarrestarse con un potencial beneficio en la educación científica. En este sentido, los estudiantes de las carreras de física podrían incorporarse a la docencia con una alta probabilidad de éxito ya que son formados para comprender la realidad a través de los conceptos de la física.

La investigación en física educativa ha revelado que los estudiantes, antes de iniciar estudios de la carrera en física, ya tienen pensamientos acerca del comportamiento de los sistemas físicos [2, 3]. Sin embargo, muchas de estas ideas iniciales representan concepciones erróneas, parciales o

María Elena Rodríguez Pérez1, et al.

alternativas ya que difieren de diversas maneras de las ideas científicas aceptadas [4]. Es decir, las Instituciones de Educación Superior (IES) que forman licenciados en física tienen que generar espacios de aprendizaje para incorporar a sus estudiantes a grupos de científicos y, así, promover su desarrollo conceptual óptimo. Como consecuencia, las IES que forman profesionales de la física deben evaluar el dominio conceptual de sus egresados de diferentes maneras y a través de distintos mecanismos.

Dado que un campo laboral importante de los egresados de la Licenciatura en Física de la Universidad de Guadalajara es la docencia en diferentes niveles y modalidades educativas [5], una competencia de egreso deseable es su capacidad de comprender la naturaleza a través de los conceptos de física. En la presente investigación, se llevó a cabo una evaluación diagnóstica sobre el dominio conceptual de los egresados en las áreas de termodinámica, óptica, ondas y fluidos con el propósito de juzgar su potencial impacto en la educación en física.

II. CONTEXTO DE INVESTIGACION

La Licenciatura en Física de la Universidad de Guadalajara fue creada en 1980. Se impartía en la Facultad de Ciencias con un plan de estudios de 5 años de duración. El primer año compartía materias de tronco común con las carreras de Biología y Matemáticas. Su creación se planteó como una solución al problema de la falta de maestros de física y matemáticas para las carreras de ingeniería [6]. Así, el perfil del egresado enfatizó la formación para la docencia universitaria. A partir de entonces, ha pasado por tres cambios curriculares.

El primer cambio ocurrió en 1990. La Facultad de Ciencias se transformó en las facultades de Ciencias Biológicas y la de Ciencias Físico Matemáticas. El plan de estudios de la Licenciatura en Física se redujo a 8 semestres y se eliminaron las materias de tronco común. Además, se añadió al perfil de egreso la habilidad experimental, capacidad para continuar con estudios de posgrado y fortalecer su formación como investigador. En 1994, la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas se incorporó a lo que hoy es el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI), uno de los centros temáticos de la Red Universitaria de la Universidad de Guadalajara [7].

La transformación de la Universidad de Guadalajara en la Red Universitaria fue la estrategia institucional para responder a las necesidades de formación de los profesionales del siglo 21 [8, 9]. Por ello, se adoptó el modelo educativo de formación basado en el desarrollo de competencias profesionales [10] y se reconoció que el objetivo es educar al estudiante para la vida diaria, basándose en cuatro cimientos importantes: aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a vivir juntos y aprender a ser [11, 12]. Bajo este enfoque, los futuros profesionales deben desarrollar las habilidades para generar nueva información y adaptarla a diferentes contextos, así como, poder utilizar ese conocimiento de forma innovadora

en la vida cotidiana para el desarrollo y la toma de decisiones [10].

En el marco del modelo educativo para el aprendizaje de competencias, la Licenciatura en Física pasó por un segundo cambio en 1996. Este cambio fue radical ya que su plan de estudios se diseñó bajo los lineamientos de un currículo flexible en una estructura departamental-matricular y un sistema por créditos [13]. Es decir, la duración de la carrera dependió del estudiante y la rapidez con que acreditara el número mínimo de créditos necesarios para egresar (en este caso, 391 créditos). Una ruta curricular estándar consideraba 8 semestres de duración. En esta ruta estándar, se pueden compartir materias básicas con las carreras de ingenierías, química e informática de CUCEI durante los primeros dos años y con la carrera de matemáticas hasta el tercer año. Con el fortalecimiento de la infraestructura del CUCEI, se equiparon, por primera vez, laboratorios con el objetivo de formar físicos. Además, se fortaleció la planta académica conformando grupos de investigación.

El tercer cambio curricular es reciente. Ocurrió en el año de 2013 y es identificado como Plan Modular [14]. Se integró al plan de estudios la formación integral con espacios curriculares explícitos tales como las Clínicas de tutorías para el desarrollo de habilidades de estudio, Clínicas para la incorporación temprana a la investigación y los Proyectos modulares. Se incluyeron diferentes espacios curriculares con créditos destinados a promover la titulación. Las prácticas profesionales son obligatorias ya que se les asignó un valor en créditos (20 créditos con un mínimo de 300 horas). Aunque desaparecieron las materias compartidas con otras carreras, se conservó el sistema de créditos con una duración estimada de 4 años.

En suma, aunque ha habido cambios en el plan de estudios, el perfil del egresado ha considerado la formación para la docencia y la investigación. Las condiciones en infraestructura y planta académica han ido cambiando desde su creación en 1980 con el propósito de aumentar la calidad de formación de sus estudiantes. Las propuestas institucionales y de servicios académicos actuales buscan que el egresado de la Licenciatura en Física de la Universidad de Guadalajara sea capaz de comprender, analizar e interpretar las teorías y modelos que describen los fenómenos en la naturaleza aplicando métodos propios de la física y las matemáticas [14].

III. METODOLOGÍA

En la presente investigación se identificaron a los egresados de la Licenciatura en Física del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara. Con sus datos de contacto, se les invitó a participar en el estudio. A los que aceptaron, se les envió una liga donde se direccionaba a un cuestionario el cual podía ser contestado en línea. A los encuestados se les dio una hora para contestar el cuestionario.

El cuestionario constó de dos partes. En la primera, se formularon preguntas que nos dieran información sobre el perfil de los egresados; *v. gr.* cuándo egresaron, cuánto duraron los estudiantes para poder egresar de la licenciatura, cuánto tiempo pasó para obtener el título y cómo se estaban relacionando en la sociedad. En la segunda parte del cuestionario, se incluyeron 14 preguntas abiertas sobre las áreas de termodinámica, óptica, ondas y fluidos. La información obtenida se guardó automáticamente en una base de datos de Excel para su posterior análisis.

A. Participantes

En este estudio participaron 71 personas entre pasantes y titulados que comprendían a egresados de 1985 a 2015 de la licenciatura en física. La población estudiada fue la que contestó a la invitación para participar. Los egresados se incluyeron bajo el supuesto de que tomaron un curso de óptica, termodinámica y, ondas y fluidos, o estuvieron en contacto de manera formal en el pasado con conceptos relacionados con estos temas.

Cabe mencionar que la cantidad de egresados de la Licenciatura en Física es aproximadamente de 300 en el periodo comprendido. Por ello, participaron casi el 25% de la población objetivo.

B. Instrumento de evaluación conceptual

Se preparó un cuestionario de 14 reactivos diseñados para medir el conocimiento conceptual en las áreas de termodinámica, óptica y, ondas y fluidos. Los reactivos se tomaron del libro de texto de Física Conceptual de Paul Hewitt [15] dado que (1) dicho recurso fue empleado en diversos cursos de la licenciatura, (2) fue una referencia básica a pesar de los cambios en los planes de estudio de la licenciatura, (3) el texto hace énfasis en el desarrollo de habilidades conceptuales de diferentes áreas de la física, incluyendo las áreas de interés en esta investigación.

En la tabla I se muestra la estructura del cuestionario elaborado a partir del texto de Hewitt. Como puede observarse, se incluyeron 5 preguntas sobre ondas y fluidos, 5 sobre termodinámica y 4 sobre óptica. Los reactivos fueron elegidos por presentar contextos de la vida cotidiana cuyo análisis no fuera trivial. Los conceptos principales involucrados en los reactivos elegidos también se muestran en la tabla I.

TABLA I. Estructura del instrumento de evaluación conceptual.

Área de la física	Cantidad de reactivos	Temas
Ondas y Fluidos	5	Flotabilidad
		Sustentación
		Resonancia
		Ondas de sonido
		Vibración
Termodinámica	5	Efecto Venturi
		Presión en fluidos
		Primera ley de termodinámica

		Convección
		Entropía
Óptica	4	Refracción
		Polarización
		Interferencia
		Difracción
Total	14	

IV. RESULTADOS

En la presente investigación, 71 egresados de la Licenciatura en Física de la Universidad de Guadalajara contestaron una encuesta dividida en dos partes. En la primera, se incluyeron preguntas para caracterizarlos mientras que la segunda parte consistió en una evaluación del dominio conceptual de las áreas de ondas y fluidos, termodinámica y óptica. Por tanto, los resultados se presentarán en dos partes: caracterización de los encuestados y el dominio expresado en el instrumento de evaluación conceptual.

A. Caracterización de los participantes

La tabla II presenta información sobre el nivel de estudios reportado por los encuestados. Congruente con el perfil de egreso, la mayoría de los participantes continuaron sus estudios de posgrado ya que 38% de ellos reportó tener el grado de maestría y 14% el grado de doctorado.

TABLA II. Nivel de estudios de los egresados al momento de ser encuestados.

Nivel de estudios	Cantidad	Porcentaje de los encuestados
Pasante de licenciatura	10	14
Licenciatura	22	31
Maestría	27	38
Doctorado	10	14
Más de una licenciatura	2	3
Total	71	100

La tabla III presenta el tiempo que tardaron en concluir la licenciatura. La mayoría de los egresados completaron los créditos mínimos para obtener el título (o aprobaron las materias requeridas por el plan de estudios) en un tiempo aproximado de 5 años.

En la tabla IV se contabiliza los reportes de los egresados respecto del tiempo que tardaron en obtener el título después de concluir con la licenciatura. La mayoría de los encuestados obtuvieron su título después de un año de egresar.

De acuerdo a la normatividad vigente en la Universidad de Guadalajara, los egresados cuentan con diferentes formas para obtener el título [16]. Para la Licenciatura en Física se puede optar por desempeño académico sobresaliente, exámenes, investigación y estudios de Posgrado, producción de materiales educativos y tesis, tesina e informe. La tabla V muestra las modalidades de titulación elegidas por los encuestados. La mayoría de ellos

María Elena Rodríguez Pérez1, et al.

se titularon por tesis, tesina e informe. El 10% que reportaron que no se han titulado dijeron que se encuentran en dicho proceso.

TABLA III. Tiempo que tardaron en completar los créditos o aprobar las materias del plan de estudio según el reporte de los egresados.

Tiempo que tardaron en concluir la licenciatura	Porcentaje de los encuestados
2 años	3
3 años	3
4 años	27
5 años	42
6 años	20
7 años	5

TABLA IV. Tiempo que tardaron en obtener el título después de completar los créditos o aprobar las materias del plan de estudio.

Tiempo que tardaron en titularse	Porcentaje de los encuestados
0 años	17
1 años	38
2 años	17
3 años	7
4 años	6
5 años	3
8 años	1
20 años	1
Aun no se titulan	10

TABLA V. Tipo de modalidad con la que obtuvieron el título según el reporte de los encuestados.

Modalidad de titulación	Porcentaje de los encuestados
Tesis, tesina e informe	72
Desempeño académico sobresaliente	11
Investigación y estudios de Posgrado	5
Producción de materiales educativos	1
Examen teórico práctico	1
Aun no se titulan	10

Una pregunta relevante fue la ocupación de los egresados. Sus respuestas se encuentran en la tabla VI. Según lo reportado, la mayoría de ellos trabajan como profesores (38%), estudian un posgrado (16%) o ejercen la investigación (11%).

Tabla VI. Ocupación reportada por los encuestados.

Ocupación reportada	Porcentaje de los encuestados
Profesor	38
Estudiante de posgrado	16
Investigador	11
Empleado en industrias	8
Empleado gubernamental	3
Dirección de empresas	1
Otros	9
No reportaron un empleo	14

B. Dominio conceptual de los participantes

En seguida, se reportan las preguntas abiertas que conformaron el instrumento de evaluación conceptual, así como las respuestas que dieron los participantes. Para cada pregunta se elaboró, a partir de dos expertos en la disciplina, una respuesta esperada (considerada como “correcta”). Las respuestas de cada participante fueron evaluadas por tres jueces independientes para determinar si era correcta o no. En caso de que al menos dos de los jueces no estuvieran de acuerdo, se establecía un dialogo entre ellos hasta coincidir en la valoración. Una vez analizadas las respuestas de todos los participantes, se estimó el porcentaje de estudiantes que contestaron correctamente a cada reactivo.

C. Preguntas sobre Ondas y Fluidos

Reactivo 1	
Conceptos	Presión, inercia, flotabilidad
Pregunta	Usted sabe por experiencia que si el auto en el que está viajando se detiene súbitamente, los objetos pesados en la parte trasera se mueven a la parte delantera ¿Por qué un globo lleno de helio en una situación semejante se mueve hacia la parte trasera del auto?
Respuesta esperada	Cualquier partícula que tenga masa se irá hacia adelante, lo cual provoca que se tenga mayor cantidad de partículas en la parte delantera que en la trasera y esta diferencia de presión empuja al globo hacia atrás.

Revisando las respuestas, sólo 10 % de los participantes se refirieron a la diferencia de presión de manera explícita. Sin embargo, 42 % de las respuestas describen que el desplazamiento del globo hacia atrás se debe a que el aire se desplaza hacia adelante. Algunas respuestas que se consideraron incorrectas mencionaron a los marcos inerciales, la diferencia en la densidad del aire y el helio o a que el globo “flota” y, por tanto, no experimenta inercia.

Reactivo 2	
Conceptos	Presión atmosférica, sustentación y 3era Ley de Newton
Pregunta	Los aeropuertos a gran altitud tienen pistas más largas para los despegues y aterrizajes que los

	aeropuertos que están al nivel del mar. Una de las razones para ello es que los motores de los aviones desarrollan menos potencia en el aire enrarecido presente a mayor altitud. Cite otra razón.
Respuesta esperada	Se necesita más velocidad para adquirir la sustentación de elevación ya que la densidad del aire es menor debido a la altitud.

Aunque 55% de los participantes contestaron correctamente, sólo 20% de ellos incluyeron explícitamente el concepto de sustentación en sus explicaciones. Las respuestas incorrectas aludieron a razones más bien prácticas; v. gr. despegar con más comodidad o llevar más carga dentro del avión.

Reactivo 3	
Conceptos	Ondas de Sonido
Pregunta	¿Por qué los soldados rompen filas al cruzar por un puente?
Respuesta esperada	Cada objeto tiene una frecuencia de vibración natural. Rompen filas para que el puente no vibre y no halla posibilidad de que se derrumbe.

El 55% de los participantes contestaron con la respuesta esperada. Quienes dieron razones consideradas como equivocadas mencionaron: para distribuir el peso o la energía de los pasos. Uno de los participantes incluso mencionó que esta pregunta no tenía nada que ver con física.

Reactivo 4	
Conceptos	Ondas, Vibración y Frecuencia
Pregunta	Si sopla aire a través de la boca de una botella de refresco vacía, escucha un sonido ¿Por qué será que si pone agua en la botella, el tono aumenta?
Respuesta esperada	Al soplar a través de la boca de una botella se producen ondas de sonido. El tono de las ondas de sonido cambia de acuerdo a la cantidad de espacio que tiene para vibrar. El agua quita espacio donde las ondas de sonido pueden vibrar.

Respondieron correctamente el 49% de los participantes. Algunos de los participantes relacionaron el cambio de sonido por la propagación al segundo medio (agua) sin considerar la reducción del espacio que tendría la onda para vibrar. Esta dificultad para distinguir la reflexión de la refracción ya ha sido documentada en experimentos previos [4].

Reactivo 5	
Conceptos	Ondas, vibración, frecuencia
Pregunta	Las cuatro cuerdas de un violín tienen diferente espesor, pero aproximadamente la misma tensión. ¿Las ondas viajan más rápidamente en las cuerdas gruesas o en las delgadas? ¿Por qué?
Respuesta esperada	En las delgadas porque la rapidez de onda es máxima en una cuerda de densidad lineal mínima.

Aunque el 67% de los participantes contestaron correctamente al señalar que las ondas viajarían más rápido en las cuerdas delgadas, sólo 26% de los participantes

mencionaron la densidad lineal de manera explícita. La extensión de las justificaciones también varió entre los egresados. Por ejemplo, uno de ellos dijo “En las delgadas porque su menor masa les facilita el movimiento” mientras que otro explicó “La velocidad de ondas en una cuerda es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad lineal de masa. Las cuerdas del violín tienen la misma longitud, pero las más gruesas tienen mayor masa, así que su densidad lineal es mayor. Por lo tanto, en las cuerdas gruesas la velocidad de onda es menor. La razón física de esta dependencia entre velocidad de onda y densidad es que en un medio más denso se necesita más tiempo para transmitir una vibración mecánica puesto que el camino libre medio de las partículas es menor.”

D. Preguntas sobre Termodinámica

Reactivo 1	
Conceptos	Conservación de la energía mecánica, efecto Venturi, principio de Bernoulli, enfriamiento por expansión
Pregunta	Cuando usted sopla fuertemente en su mano se siente frío, pero cuando sopla suavemente se siente caliente. ¿Por qué?
Respuesta esperada	Como el aire proviene del interior de nuestros pulmones, se encuentra aproximadamente a la temperatura corporal. Al dejarlo salir suavemente y con la boca abierta, saldrá a la temperatura del cuerpo. Pero si soplamos manteniendo la boca casi cerrada, el aire se ve obligado a salir por una abertura mucho más estrecha. Es decir, el fluido con caudal constante pasa de un conducto de mayor sección a otro de menor y, necesariamente, su velocidad aumenta (efecto Venturi). Si la energía cinética (que viene determinada por la velocidad) aumenta, la energía determinada por el valor de la presión ha de disminuir forzosamente, según el teorema de conservación de la energía o principio de Bernoulli. Al encontrarse fuera de la boca y a presión más reducida, el aire se expande. El efecto Joule-Thomson nos dice que si un gas se expande libremente, su temperatura disminuye, pues la distancia entre sus moléculas es mayor y su energía se diluye en un mayor volumen. Por tanto, el aire del soplido tiene una temperatura inferior a la del aliento.

Analizando los exámenes se observó que hay un porcentaje muy bajo de respuestas correctas: 23%. Algunos de los participantes relacionaron el frío de la mano con el tiempo de contacto del aire, es decir, un aire rápido produce sensación de frío ya que evapora rápido la humedad de la mano. Pero no relacionaron la respuesta con el enfriamiento por expansión del gas, ni con el aumento de energía cinética el cual producirá disminución de la presión del gas.

Reactivo 2	
Conceptos	Proceso de ebullición, presión en fluidos
Pregunta	¿Por qué la temperatura de agua hirviendo disminuye cuando se reduce la presión sobre el agua, por ejemplo, a grandes alturas?
Respuesta	Porque al tener menos presión tiene menos

esperada	partículas sobre él impidiendo el proceso de ebullición.
----------	--

En la pregunta se maneja como concepto principal el proceso de ebullición que establece que “se realiza cuando la temperatura de la totalidad del líquido iguala al punto de ebullición del líquido a esa presión”. Cuando la presión disminuye, la temperatura del punto de ebullición disminuye. Analizando las respuestas a dicha pregunta se observó un 49% de aciertos.

Reactivo 3	
Conceptos	Primera ley de la termodinámica, energía térmica, energía mecánica
Pregunta	¿Esperarías que la temperatura del agua en el fondo de las cataratas del Niágara fuera ligeramente más alta que la temperatura en la superficie de ellas? ¿Por qué?
Respuesta esperada	Sí, ya que se está realizando trabajo sobre el agua, lo cual debe incrementar su temperatura, debido a que hay un incremento de energía interna.

Esta pregunta generó confusión en los encuestados ya que, al analizar las respuestas, se percibe dos interpretaciones al mismo texto. El primero es considerando la parte alta de la cascada y el fondo de la cascada. Teniendo como respuesta correcta un aumento de temperatura ya que se realiza trabajo al caer el agua a más de 60 metros de altura. Se tuvo un 33 % de respuestas correctas.

Sin embargo, el 31% de los participantes interpretaron la pregunta como si fuera un lago. Es decir, considerando el fondo y la superficie de un lago. En este caso, contestaron que hay mayor temperatura en la superficie ya que el agua fría se desplaza al fondo por diferencia de densidad. Al revisar la pregunta en el texto original del libro de Hewitt [17], en inglés, se pudo leer lo siguiente:

“Would you expect the water at the bottom of Niagara falls to be warmer than the water at the top? Why?”

Al examinar la pregunta en español y las respuestas de los participantes, se infiere que la palabra “fondo” y “superficie” en la traducción genera confusión en la interpretación. Tal vez una mejor traducción sería:

“¿Esperarías que el agua en la parte inferior de la cascada de las cataratas del Niágara sea más caliente que el agua en la parte superior?”

Reactivo 4	
Conceptos	Corriente por convección
Pregunta	Algunos ventiladores de techo son reversibles, de manera que pueden lanzar aire hacia abajo o jalarlo hacia arriba. ¿En qué dirección debería mover el aire el ventilador durante el invierno? ¿Y en qué dirección en el verano?
Respuesta esperada	En invierno... hacia arriba. En verano... hacia abajo

El 41% de los participantes contestó correctamente al relacionar que la rapidez del aire produce una sensación de frescura para el caso de verano al lanzar el aire hacia abajo. En invierno las aspas jalan aire hacia arriba produciendo un desplazamiento lento del aire de abajo hacia arriba por

corriente de convección. Hubo quienes consideraron el movimiento del aspa del ventilador en sentido opuesto al correcto.

Reactivo 5	
Conceptos	Segunda ley de la termodinámica, entropía
Pregunta	El agua puesta en el compartimiento del congelador en tu refrigerador pasa a un estado de menor desorden molecular al congelarse. ¿Es una excepción al principio de la entropía? ¿Por qué?
Respuesta esperada	No, ya que la entropía disminuye por un trabajo realizado.

Aunque 58% de los participantes dijeron “No”, sólo 46% de ellos proporcionaron razones que pueden considerarse como correctas.

E. Preguntas sobre Óptica

Reactivo 1	
Conceptos	Refracción
Pregunta	Cuando sube aire caliente desde un radiador o conducto de calefacción, los objetos que están detrás de él parecen temblar u ondular. ¿Cuál es la causa de este fenómeno?
Respuesta esperada	Al aumentar la temperatura del aire que se encuentra justo arriba del calefactor provoca que disminuya su densidad. En esa parte, la luz viaja más rápido produciendo ese efecto.

El 65% de los participantes contestaron correctamente, aunque sólo 27% de ellos mencionaron explícitamente una relación entre la densidad y el índice de refracción. De nuevo, hay respuestas detalladas y justificaciones cortas. De manera consistente quienes ofrecieron explicaciones detalladas en las preguntas anteriores, lo hicieron también en ésta.

Reactivo 2	
Conceptos	Polarización, polarización por reflexión
Pregunta	Una vendedora de un mostrador de mercancía rebajada afirma que cierto par de lentes de sol tiene filtros Polaroid. Usted sospecha que son de simple plástico coloreado. ¿Cómo podrías saber la verdad con certeza?
Respuesta esperada	Al ver alguna luz reflejada con los lentes puestos; tratando de obtener el ángulo adecuado de la luz reflejada para que se produzca la polarización; o también, colocando dos lentes uno sobre otro y haciendo girar uno de ellos.

Contestaron correctamente 75% de los egresados. Este porcentaje alto de aciertos puede estar vinculado con la cotidianidad del fenómeno referido.

Reactivo 3	
Conceptos	Refracción
Pregunta	Si al estar parado a la orilla de un río quieres pescar con arpón a un pez que esta frente a ti, ¿Deberías apuntar hacia arriba o hacia abajo del pez, o directamente hacia él? Si en lugar de ello pudieras atrapar al pez con un rayo láser, ¿Deberías

	apuntar hacia arriba, hacia abajo del pez, o directamente hacia él? Explica
Respuesta esperada	Hacia abajo, ya que la luz sufre una refracción acercándose el haz de luz a la normal al pasar al segundo medio y el ojo no percibe ese cambio de dirección de la luz. En el caso del rayo láser, directamente al pez ya que el rayo láser no va a cambiar su trayectoria cuando entre al agua.

Un 57% de participantes contestaron con acierto. Un participante describió correctamente la razón en el caso del láser al mencionar “Con un rayo láser, en cambio, se debe apuntar directamente hacia el pez, pues la refracción al entrar al agua desviaré el rayo a lo largo de la misma trayectoria que la imagen del pez, dirigiendo el rayo láser hacia el pez.

Reactivo 4	
Conceptos	Interferencia, difracción
Pregunta	Se monta un experimento de interferencia de dos ranuras y se proyectan las franjas en una pantalla. Después, el aparato completo se sumerge en la alberca más próxima. ¿Cómo cambia el patrón de franjas?
Respuesta esperada	Debido a que la separación de las rendijas es directamente proporcional a la longitud de la onda y como la rapidez de propagación de la luz se retarda en el agua, además de que la frecuencia no cambia de un medio a otro y en base a la fórmula $v=\lambda f$, λ se hace más corto y se deberían juntar las franjas.

En esta pregunta se aplica de manera directa el concepto de interferencia y difracción, además de que se requiere conocer que la frecuencia de la luz no cambia al pasar de un medio a otro. De tal manera que de la fórmula $v=\lambda \cdot f$ se puede ver que si disminuye la velocidad de propagación en un medio más denso debe disminuir la longitud de onda produciendo como efecto que las franjas se junten. Sólo 28% de los participantes contestaron correctamente. Entre las respuestas incorrectas mencionaron que la frecuencia cambia al estar en el agua. Otros casos se evidencian confusión ya que se mencionó separación de las franjas. El mayor porcentaje de las respuestas incorrectas expresa que las franjas no presentan ningún cambio, la justificación que dan los encuestados es que no cambia de medio y por lo tanto no deben cambiar las franjas.

Resumiendo, la tabla VII muestra el porcentaje de los participantes que escribieron respuestas consideradas como correctas a cada uno de los reactivos del cuestionario. Como puede observarse, parece que los egresados tienen un buen dominio conceptual de ondas y fluidos, un dominio aceptable de óptica, pero parece haber deficiencias en el dominio conceptual de termodinámica.

TABLA VII. Porcentaje de los participantes que contestaron correctamente a cada reactivo del cuestionario de evaluación conceptual. Se han marcado con un asterisco aquellos porcentajes menores a 50% para señalar deficiencia conceptual de los egresados.

Área de la física	Porcentaje de respuestas correctas al reactivo				
	1	2	3	4	5
Ondas y Fluidos	42 *	55	55	49 *	67
Termodinámica	23 *	49 *	33 *	41 *	46 *
Óptica	65	75	57	28 *	

F. Análisis del desempeño individual

Además del análisis de cada reactivo, se calcularon los porcentajes de respuestas correctas para cada participante. El rango de calificaciones fue de 0 a 100 con un promedio de 48% aciertos, una mediana de 50 y moda de 71. La figura 1 muestra la distribución de los porcentajes de respuestas correctas. Como puede observarse, el 38% de los participantes tuvieron más de 60% de respuestas correctas.

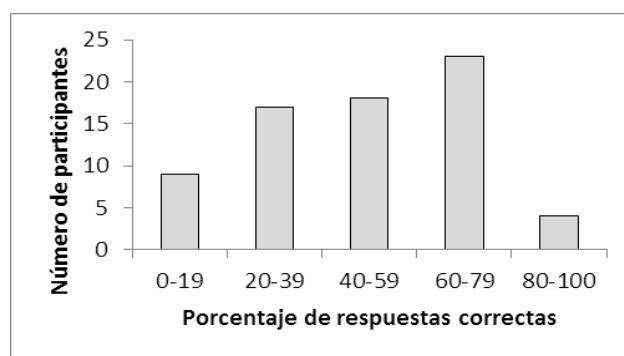


FIGURA 1. Distribución de porcentajes de respuestas correctas para los 71 egresados que contestaron el cuestionario de dominio conceptual.

Al comparar las calificaciones de los participantes según el año de ingreso, se encontró que los 9 participantes que ingresaron entre 1985 y 1995 (plan de estudios en Facultad) contestaron con 54% de aciertos mientras que los 61 participantes que ingresaron entre 1996 y 2012 (plan de estudios en modelo departamental y sistema de créditos) contestaron con 47% de respuestas correctas. Sólo participó un egresado del plan modular (ingreso en 2013) y obtuvo 71 % de aciertos. Estas diferencias deben tomarse con cuidado ya que el número de egresados que se comparan no permiten homogeneidad entre los grupos. Es decir, el único egresado del plan modular debe ser alguien con éxito académico ya que terminó la carrera en dos años. De hecho, al comparar los desempeños por décadas de ingreso (1980, 1990, 2000, 2010), no hay diferencias significativas en los porcentajes de aciertos.

Sin embargo, al comparar los porcentajes de aciertos según el nivel de estudios se puede apreciar que existen diferencias significativas entre los grupos de egresados ($F=3.032$, $g.l.=2$, $p=0.055$). Los que reportaron contar con estudios de licenciatura tuvieron 41% de aciertos, los que tienen grado de maestría consiguieron 53% de aciertos y quienes tienen grado de doctor contestaron con 60% de aciertos.

V. CONCLUSIONES

En la presente investigación, se encuestaron a 71 egresados de la Licenciatura en Física de la Universidad de Guadalajara para caracterizarlos y evaluar su dominio conceptual en termodinámica, óptica y ondas y fluidos. Con respecto a la caracterización, los egresados están llevando a cabo las actividades congruentes con el perfil de egreso que se deseaba al momento de diseñar los diferentes planes curriculares. Es decir, su formación para la docencia y la investigación les permite egresar en 5 años, titularse por tesis, tesina e informes al año después del egreso y continuar con estudios de posgrado o incorporarse a la docencia e investigación.

Con respecto al dominio conceptual, los egresados pudieron escribir respuestas a partir de las teorías propias de la física con diferentes niveles de precisión según el área en cuestión. Parece que óptica, ondas y fluidos son dominadas con suficiente maestría para aplicar los conceptos en la explicación de fenómenos de la vida cotidiana. Sin embargo, parece que falta mejorar sus habilidades verbales para comprender y explicar los fenómenos de termodinámica. Estos hallazgos son congruentes con estudios previos. Por ejemplo, Durán y Durán [18] han señalado que la termodinámica es una de las áreas del saber que encuentra mayor obstáculo en los estudiantes debido a que la enseñanza suele dar énfasis a los métodos matemáticos para calcular propiedades. Los conceptos, por tanto, no son plenamente identificados en el mundo que rodea a los estudiantes. En ocasiones, los libros de texto presentan definiciones de calor y trabajo para los cuales es posible encontrar casos particulares que dan lugar a contradicciones [19]. Otra razón que hace a la termodinámica un área difícil de dominar es su enseñanza descontextualizada de su origen y desarrollo conceptual.

Esta descontextualización promueve la persistencia en los estudiantes de algunas ideas del modelo calórico [20] que se refuerzan al emplear nombres de magnitudes y definiciones de unidades que aparecieron en las primeras etapas del desarrollo de la termodinámica.

La disparidad en los dominios conceptuales de las áreas evaluadas también podría reflejar las condiciones particulares de infraestructura y talento docente del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, lugar donde se forman a los egresados en física. Por ejemplo, al revisar las áreas de investigación que se cultivan en este Centro Universitario, se pueden observar grupos de investigación con temáticas en óptica y fluidos, pero no hay investigación sobre fenómenos termodinámicos [21].

Al analizar los desempeños individuales, no parece haber diferencias en el porcentaje de respuestas correctas de los participantes según el año de ingreso y, por ende, según el plan de estudios bajo el cual cursaron la licenciatura. Sin embargo, los participantes con doctorado tuvieron mejores desempeños que los de maestría y éstos, a su vez, lograron porcentaje de aciertos mayores a los participantes de licenciatura. Esto parece sugerir que para dar razones pertinentes sobre el comportamiento de los fenómenos de la naturaleza no es condición suficiente saber los conceptos de

la física. Parece que debe fomentarse, de manera explícita, la capacidad para modelar la realidad. Manterola [22] ya ha señalado que los profesores suelen presentar los modelos científicos para “transmitir” el contenido pero que no enseñan a modelar como una estrategia de razonamiento científico. Los estudios de doctorado parecen promover esta capacidad de modelar la realidad. De ahí, que los participantes con doctorado hayan elaborado mejores explicaciones de los fenómenos descritos.

El presente diagnóstico proporciona información relevante para la operación del nuevo plan de estudios de la Licenciatura en Física. Por ejemplo, se podría fomentar estancias académicas de estudiantes en instituciones de prestigio cuyo objeto de estudio sean los fenómenos termodinámicos. También se podrían identificar a egresados que dominen la termodinámica para buscar su incorporación como profesores-investigadores. Así mismo, la presente investigación enfatiza la necesidad de enseñar las diferentes áreas de la física con enfoques metodológicos que incluyan revisiones histórico-filosóficas y en donde se fomenten habilidades para modelar e interpretar la realidad a partir de las teorías científicas de la física.

REFERENCIAS

- [1] Malavé, C. A., Flores, B. C. y Flores, F. *Análisis descriptivo de las dificultades que afrontan estudiantes de Ingeniería en el aprendizaje de Física de una Universidad ecuatoriana*, Lat. Am. J. Phys. Educ, **10**, 4322-1 - 4322-8 (2016).
- [2] Lara-Barragán, A., Rodríguez, M. E., Cerpa G. y Núñez, H., *La enseñanza del electromagnetismo: Una experiencia dentro del modelo de competencias integradas de la Universidad de Guadalajara*. IX Congreso Nacional de Investigación Educativa. Mérida, Yucatán, (2007).
- [3] Maloney, D. P., O’Kuma, T. L., Hieggelke, C. J. y Van Heuvelen, A. V. *Surveying students’ conceptual knowledge of electricity and magnetism*, Physics Education Research, American Journal of Physics Supplement **69**, S12-S23 (2001).
- [4] Medina, J. y Ramírez, M., *Obtención y clasificación de ideas previas sobre fenómenos sonoros: Estudio en alumnos universitarios de carreras de ciencias de la salud*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **10**, 3305-1 – 3305-9 (2016).
- [5] Rodríguez M. E., Camelo V., Navarrete L. y Algaba M. A., *Importancia de la evaluación diagnóstica del dominio conceptual en las ciencias básicas*, En Gamboa M. A., García M. M., Marín R., Mendoza E., Ramirez C. A. y Velasco F. N. (compiladores) *Investigación y Formación Docente: Ciencia, Docencia y Tecnología para la Educación Integral* (pp. 493-500) Cd. Obregón Sonora, México, ITSON (2013).
- [6] Información recabada a través de entrevista a uno de los profesores de la antigua Facultad de Ciencias.
- [7] Organización y estructura de la Universidad de Guadalajara. <<http://www.udg.mx/es/nuestra/organizacion>> consultado el 12 de marzo de 2017.

- [8] González, M., Espinosa, J., López, J. L., Mercado, M. A., Tapia, A., Arcila, L. R. y Padilla, L. M., *Diseño, implementación y evaluación de programas por competencias profesionales integradas*, (Universidad de Guadalajara, 2002).
- [9] Ibarra, E., *La "nueva universidad" en México: transformaciones recientes y perspectivas*, Revista Mexicana de Investigación Educativa **7**, 75-105 (2002).
- [10] Universidad de Guadalajara. Modelo educativo siglo 21. (2007).
<http://www.udg.mx/sites/default/files/modelo_Educativo_siglo_21_UDG.pdf> consultado el 10 de marzo de 2017.
- [11] Gonczi, A., *Perspectivas internacionales sobre la educación basada en competencia*, Ponencia presentada en la Conferencia Internacional sobre Educación Basada en Competencias, Canadá, (1994).
- [12] Delors, J., *La Educación Encierra un Tesoro*. (UNESCO, 1996).
- [13] Modelo organizacional del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías.
<<http://www.cucei.udg.mx/es/acerca-de/documentos-basicos/modelo-organizacional>> consultado el 10 de abril de 2017.
- [14] Perfil de egreso de la Licenciatura en Física.
<<http://www.cucei.udg.mx/carreras/fisica/>> consultado el 12 de marzo de 2017.
- [15] Hewitt, P. G., *Física Conceptual*, 12va. Ed. (Pearson Addison Wesley, México, 2007).
- [16] Reglamento General de Titulación de la Universidad de Guadalajara.
<<http://www.secgral.udg.mx/sites/archivos/normatividad/general/ReglamentoGeneraldeTitulacion.pdf>> consultado el 13 de marzo de 2017.
- [17] Hewitt, P. G., *Conceptual Physics*, 12va. Ed. (Pearson Addison Wesley, México, 2007).
- [18] Durán-García, M. E. y Durán-Aponte, E. E., *La termodinámica en los estudiantes de tecnología: Una experiencia de aprendizaje cooperativo*, Enseñanza de las Ciencias **31**, 45-59 (2013).
- [19] González, A., *Calor y trabajo en la enseñanza de la termodinámica*, Revista Cubana de Física **20**, 129-134 (2003).
- [20] Cotignola, M., Bordogna, C., Punte, G. y Cappannini, O., *Difficulties in learning thermodynamics concepts. Are they linked to the historical development of this field?*, Science & Education **11**, 279-291 (2002).
- [21] Áreas de investigación en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías.
<<http://www.cucei.udg.mx/es/investigacion/areas-de-investigacion>> consultado el 15 de marzo de 2017.
- [22] Manterola, A., *La analogía provocativa como estrategia pedagógica: el caso histórico de la mecánica de fluidos*. Enseñanza de las Ciencias **33**, 159-174 (2015).