

Investigación en enseñanza de la física experimental en el siglo XXI

Héctor G. Riveros
Instituto de Física, UNAM.

Received 30 May 2016; accepted 13 December 2016

Los fines de la enseñanza de la física han evolucionado junto con la sociedad en que vivimos para así poder adaptarse al ritmo acelerado de cambio impuesto por la aplicación de los descubrimientos científicos en la industria. Se puede definir la calidad en la enseñanza de la Física como su capacidad para enseñar a razonar. Este enfoque cubre tanto la enseñanza por competencias como la centrada en el estudiante. Cada tema del programa es debe ser un pretexto para enseñar a deducir o a inducir. El profesor decide si lo deduce o lo induce a partir de demostraciones o datos experimentales. Los experimentos permiten apreciar la capacidad de razonar de los estudiantes, ya que ellos necesitan combinar todo lo que saben, en la realización e interpretación de los mismos. Para evaluar el aprendizaje de un tema, es necesario redactar preguntas me midan si se aprendió el razonamiento deseado, lo cual no es muy fácil. PISA lo logra para estudiantes de 15 años, el reto es hacerlo con los nuestros.

Descriptores: Calidad en la educación; deducir; inducir; razonar.

The aims of physics education have evolved alongside the society in which we live, to be able to adapt to the rapid pace of change imposed by the application of scientific discoveries in the industry. We could define the quality of physics' teaching as its ability to learn how to reason. This approach covers both teaching competency-based and is student-centered. Each topic should be an excuse to teach how deduce it or induce it. The teacher decides if he/she deduces it or induces it from a demonstration or from experimental data. Experiments allows us to appreciate the ability of reasoning of the students, since they need to combine all they know in conducting the experiment. To evaluate the learning of a topic, we need to write questions to test the required reasoning, that it is not easy. PISA succeeds for students 15 years old, the challenge is to do it with our students.

Keywords: Quality in education; deduce; induce; reason.

PACS: 01.40.Di; 01.40.Fk; 01.40.gb; 01.50.My

1. Papel de la educación

El objetivo de la Educación es preparar a la población para desarrollar las actividades necesarias para asegurar su sobrevivencia y progreso. Los sistemas educativos han evolucionado por prueba y error, llegando a resultados semejantes en la mayoría de los países. Algunos de éstos obtienen mejores resultados, dados su desarrollo económico y/o pruebas que evalúan los conocimientos adquiridos por segmentos de la población. La Educación debe ayudar a resolver los problemas actuales y a reducir los futuros; Ello nos lleva a considerar los problemas globales actuales, que necesitamos resolver en un futuro cercano.

Situación al principio del siglo XXI

Para predecir hoy el desarrollo de cualquier actividad humana, es necesario considerar las condiciones en que estamos comenzando el siglo XXI. El siglo XX produjo el mayor cambio tecnológico que ha observado la humanidad, creando, en muchos casos, dispositivos que pertenecían a la ciencia ficción. El dispositivo que más ha cambiado nuestro modo de vida es la computadora personal, presente en muchos de nuestros hogares. El teléfono celular está evolucionando fundiéndose con las aplicaciones de las computadoras, y ya podemos predecir que en el futuro cercano un solo dispositivo cumplirá ambas funciones: cómputo y comunicación. Internet como medio de comunicación y creador de redes sociales, ha hecho que las noticias se propaguen fuera de los

tradicionales canales oficiales, obligando a los gobiernos a ser más veraces. Sin duda, ha sido la investigación científico-tecnológica la que ha cambiado nuestros hábitos y necesidades, mediante el desarrollo de las nuevas tecnologías. Pero, al mismo tiempo, el desarrollo tecnológico ha creado problemas nuevos, como el calentamiento global, la primavera árabe, etc. El crecimiento de la población nos lleva a problemas de producción de alimentos, escases de agua y agotamiento de las reservas petrolíferas. Todos estos problemas están interrelacionados, lo que crea efectos colaterales inesperados al tratar de resolver alguno de ellos.

El crecimiento de la población asociado a las necesidades de alimentación, transporte y agua; , ha hecho que el consumo de petróleo lleve al agotamiento de las reservas mundiales. En este siglo se esperaba el pico en la producción, y se predijo a corto plazo el agotamiento de los pozos. La explotación económica de esquistas (shale) y el rompimiento de rocas (fracking) han incrementado la producción, retardando el pico de producción y bajando el precio del petróleo crudo. Un efecto colateral del consumo de combustibles es el incremento en el CO₂ en la atmósfera, que absorbe la radiación infrarroja que emite la superficie terrestre (sólida o líquida), produciendo un incremento en las temperaturas en la superficie terrestre. Muchos países han logrado reducir su consumo de petróleo, para aminorar los efectos del calentamiento global, lo que también retarda el agotamiento del petróleo.

El petróleo tiene muchas aplicaciones, en la agricultura como combustible para los tractores y cosechadoras, para la

producción de plaguicidas y abonos para los cultivos, para la producción de alimentos y para el bombeo de agua para las grandes ciudades lejanas a las fuentes de agua dulce. En el año 2011 la población mundial pasó los 7 mil millones de habitantes. Es notable que analizando por países, se nota que en los países desarrollados su población ya no crece, mientras que en el resto del mundo sí lo hace. Aún cuando en muchos países se han probado muchos procedimientos para reducir la natalidad, con dudosos resultados en muchos casos, la evidencia muestra que el elevar el nivel de vida de la población, mediante una buena educación, tiene como efecto colateral deseable la reducción de la natalidad en esos países. Como ejemplo, todos quisiéramos que los países de África, y las zonas marginadas de México, mejoren sus niveles de vida, proveyendo una educación de calidad al alcance de la población, así como proveyendo opciones de salud y de empleo, que les permitan tener ingresos apropiados para una vida digna y cubrir todas sus necesidades incluyendo condiciones apropiadas para la preservación de su salud física y mental.

2. Pronóstico para fines del siglo XXI

Podemos esperar que para fines del siglo XXI se establezca la población mundial en un valor cercano a los 10 mil millones de habitantes. Las mejoras continuas en los servicios de salud habrán incrementado la expectativa de vida humana, que podría exceder los 100 años. Una población numéricamente estable requiere que los diferentes medios de producción de los bienes materiales necesarios para asegurar un nivel de vida razonable, también se mantengan estables.

Con el tiempo, el transporte a largas distancias de mercancía será incosteable, lo que llevará a cambios en los patrones de consumo mundial. Los alimentos tendrán que ser producidos cerca de los centros de consumo. Las grandes ciudades, de más de 10 millones de habitantes, bajaran de tamaño debido al costo excesivo de transportar los alimentos para sus habitantes. Podemos esperar miles de centros de consumo (ciudades) rodeados por zonas productoras de alimento, cooperando entre sí mediante el extenso uso de Internet para compartir soluciones a los problemas comunes, formando una especie de confederación global de ciudades. Sería similar a un “retroceso histórico estructural” hacia tiempos ya lejanos, pero con la componente de comunicaciones inexistente hasta ahora. Sin acumulación de riqueza, desaparecen los ejércitos, quedando solamente fuerzas de seguridad para mantener el orden público. Las grandes compañías globales dispersaran sus fábricas, para atender las necesidades del centro de consumo más cercano. El reciclado será utilizado con mucha mayor intensidad de lo que se hace actualmente, reduciendo, al mismo tiempo, las necesidades de componentes no renovables. Los capitales personales serán relativamente pequeños, y las diferencias salariales serán mucho menores que en la actualidad. El nivel de vida de los dirigentes industriales o políticos no será muy diferente del de la mayoría de la población.

3. Alternativas para esta evolución

Una posibilidad es seguir el camino de crecimiento natural de los mercados mundiales, con la consiguiente acumulación desproporcionada de la riqueza, lo que probablemente nos lleve a guerras para apoderarse de las últimas gotas de petróleo. Países que han tratado de mejorar la distribución de la riqueza mediante sistemas de gobierno fuertes, aun con las mejores intenciones, no han logrado sus objetivos. En cambio, es notable que países con excelentes sistemas educativos, tales como Finlandia, han logrado envidiables niveles de vida para la mayoría de sus habitantes, lo que conduce a pensar que la Educación es, sin duda, un factor de cambio positivo.

Todos los países tienen sistemas educativos, pero no todos obtienen los mismos resultados. El problema es cómo lograr una educación que permita canalizar a cada quien a las actividades productivas compatibles con su vocación. Actualmente dejamos que sea la oferta y demanda de los mercados los que decidan cuántas personas se requieren en cada actividad productiva. En una población estacionaria este no parece un buen mecanismo. Las oportunidades de preparación deben estar de acuerdo con las necesidades de consumo de la población. En el futuro los egresados de una carrera, deben contar con empleo al terminar; lo que implica procesos de selección adecuados que permitan una oportunidad justa para cada uno de los habitantes. El proceso educativo debe contener una fuerte dosis de formación vocacional y democracia.

En el futuro podemos esperar que el flujo de información haga del planeta una comunidad (como podría ser la actual Unión Europea) El rápido desarrollo del uso racional de la energía y del reciclado de materiales se difunden y comparten vía las redes de comunicación. En el futuro, la disminución del uso de hidrocarburos hará casi desaparecer los aviones, tales como los conocemos ahora. Las pocas mercancías que se transporten lo harán en vehículos eléctricos y en barcos. La energía solar: como fuente de calor, o de energía eléctrica, así como generadores eólicos y la fotosíntesis, serán las mayores fuentes de energía, con lo cual la contaminación ambiental se mantendrá a niveles tolerables. Las grandes compañías se fraccionarán, y no habrá justificación para la acumulación excesiva de riquezas, lo cual hará innecesarios los ejércitos de agresión. Como cada región será autosuficiente, no habrá grandes riquezas que almacenar. Como la población será constante, los empleos estarán previstos. Los puestos de gobierno no deberían generar riqueza, y la posibilidad de denuncia vía redes sociales reducen, de hecho, los casos de abuso del poder.

4. Que esperamos de la educación

Para desarrollar energías alternativas, desarrollos genéticos de semillas mejoradas que puedan cultivarse sin usos intensivos de plaguicidas y fertilizantes, fuentes de agua y recuperación de aguas residuales, etc. Se necesitarán científicos de

primera línea que conozcan los recursos locales, para solucionar los problemas de los muchos centros de población que existirán. Necesitamos cambiar la calidad de la educación, para lograr que la población entienda y razone, para aplicar sus conocimientos en la solución de los problemas de la sociedad en que viven. Se observa una relación entre la educación de la población y su nivel de vida, lo que indica que el gasto en educación es una inversión redituable. Aunque también se encuentran países con un alto gasto en educación, que tienen malos resultados en las medidas de su educación mediante la prueba PISA (Program for International Student Assessment). PISA mide capacidad de comprensión en lectura y capacidad de razonar a partir de ciertos reactivos, no mide memoria. PISA representa hoy un compromiso de los gobiernos de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico OCDE para conocer mejor el funcionamiento de sus sistemas educativos y proporcionar nuevas bases para el diálogo político y la colaboración en la definición y adopción de los objetivos educativos y de las competencias a enseñar que sean relevantes para la vida adulta. Una enseñanza de calidad es aquella que enseña a razonar, lo que permite adquirir las competencias necesarias para aplicar sus conocimientos en la solución de los problemas de la comunidad.

Con el desarrollo de nuevas tecnologías se están creando nuevas oportunidades de empleo, aunque también se produce la desaparición de otras con muchos años de antigüedad. El invento y desarrollo del reloj mecánico nos permitió medir el tiempo con mucha precisión, pero el desarrollo de los relojes electrónicos basados en la estabilidad de la frecuencia de oscilación de un cristal, ha hecho obsoletos los relojes mecánicos. Los nuevos relojes son mucho más baratos y más precisos, haciendo que tiendan a desaparecer la fabricación y reparación de los relojes mecánicos.

5. Investigación en enseñanza de la física

Hasta mediados del siglo XX la investigación en Educación estaba en instituciones dedicadas a Humanidades y Sociología, las que también se encargaban de la formación de profesores, con énfasis en estudios de Didáctica y Pedagogía. Con el tiempo, empieza a aceptarse la noción de que no se puede enseñar lo que no se sabe. Si va a enseñar Física el profesor necesita saber Física, condición necesaria pero no suficiente. De las Ciencias Naturales: Física, Química y Biología, la Física tiene el dudoso honor de ser la más odiada por la población en general; quizá debido a lo alto de su índice de reprobación, especialmente en el nivel Bachillerato. Tratando de revertir esta situación, hace años, se conjuntaron los esfuerzos de los mejores educadores con los mejores científicos en el Physical Science Study Committee PSSC, para escribir un libro de texto, libros para los profesores, equipos de laboratorio para los experimentos y materiales audiovisuales como complemento. Inicialmente el resultado fue excelente, pero en 10 a 20 años, se perdió el impulso inicial y la Física volvió a los índices anteriores de aceptación (o reprobación). Hubo otros intentos parecidos con resultados semejantes.

Con el tiempo se aceptó como campo de investigación valioso para los físicos, la Educación en Física (Physics Education), siendo muchas las universidades (en Estados Unidos) con departamentos de Física; que fundaron Institutos dedicados a investigar los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Física. Actualmente, se investigan todos los niveles de enseñanza y se cuentan con revistas especializadas en el campo de la Educación en Física. Muchas de estas universidades tienen cursos cortos para que los profesores apliquen sus resultados de investigación en la práctica docente [1-5] o se pueden tomar a distancia [6]. Los resultados publicados suelen ser muy favorables a los nuevos procedimientos comparados con las clases tradicionales [7-9]. A México han llegado como “enseñanza por competencias” [10], intentando que el estudiante sea competente en la aplicación de sus conocimientos a sus problemas. Otra versión muy popular es la enseñanza “mediante preguntas” [11]. He sintetizado ambas versiones en enseñar a razonar, aprovechando que “entender causa placer”; este placer es mi mejor herramienta didáctica [12]. La más reciente innovación se refiere a la enseñanza “invertida” [13], en la que el estudiante lee en casa el material a aprender y en la clase hace lo que sería la tarea para hacer en casa. El profesor lo asesora solamente cuando lo necesita. De hecho, la enseñanza invertida llevo más de 20 años aplicándola, dándole a los estudiantes las preguntas que serán usadas para evaluar su razonamiento, para en clase, ayudarlos a responder las que no puedan resolver por su cuenta. De cada capítulo pregunto las deducciones o inducciones, y unos cuantos problemas numéricos resolviendo alguna aplicación interesante; redactando de 25 a 30 preguntas por capítulo. Procedimiento que he probado desde 1998, como lo prueba mi libro “Electricidad y Magnetismo: Preguntas y Respuestas”, Editorial Trillas.

La existencia de Internet ha cambiado radicalmente el proceso de enseñanza-aprendizaje. La Educación se medía mediante evaluaciones esencialmente memorísticas, pero con Internet cualquier estudiante tiene accesos a una memoria gigantesca; tenemos que enseñar a razonar para interpretar los datos, a veces falsos, de Internet. Antes de Internet era indispensable la asistencia a la escuela en donde un profesor enseñaba los temas del curso y el estudiante demostraba sus conocimientos mediante evaluaciones periódicas. En la escuela aprendía los temas desde Kinder hasta Licenciatura, Maestría o Doctorado. A finales del siglo XX comenzaron los cursos a distancia, en los que el estudiante puede estudiar en su casa, cuando le parece más conveniente; utilizando textos y grabaciones de audio y video que le ayuden a aprender. Se cuenta con profesores que pueden resolver las preguntas que el estudiante no pueda contestar, cuando él lo solicite. En el sitio web Coursera se encuentran cursos universitarios gratis, incluyendo varios de la UNAM [14,15].

En el futuro, dado que el trabajo en casa ha incrementado la productividad, reducido los problemas de transporte en las ciudades e incrementado la interacción padres-hijos, se preferirá que los niños aprendan en casa. Seguirán en funcionamiento los jardines de niños como guarderías y para que los

niños socialicen. Con pocas escuelas primarias, ya que la mayoría de los padres prefieren encargarse de su educación; lo mismo pasa con las secundarias y preparatorias. Las escuelas normales, formadoras de maestros evolucionarán en centros de investigación sobre los procesos de aprendizaje, en donde se diseñarán los materiales audiovisuales que se distribuyen para el aprendizaje en casa. Su actividad principal será encontrar demostraciones y experimentos que se puedan realizar a bajo costo y/o con materiales caseros, reduciendo la necesidad de crear laboratorios para las actividades experimentales que se consideren indispensables. Dado que las diferentes regiones de un país cuentan con diferentes recursos y problemas, es necesario diseñar las actividades de aprendizaje adecuadas; no hay cursos de aplicación universal.

Los fines de la enseñanza han evolucionado junto con la sociedad en que vivimos, desde una enseñanza memorística hasta llegar a una que enseña a razonar, para poder adaptarse al ritmo acelerado de cambio impuesto por la aplicación de los descubrimientos científicos en la industria. Tenemos una sociedad en aprendizaje continuo, lo que requiere capacidad de razonar para poder adaptarse con rapidez. Se habla mucho de calidad en la Educación, pero cada quien la define de manera diferente. Aquí estamos definiendo la calidad en la enseñanza como su capacidad para enseñar a razonar, lo que permite medirla (PISA [16]). Cada tema del programa es un pretexto para enseñar a deducir o a inducir, que son los dos tipos de razonamiento conocidos. En los últimos 50 años los instrumentos de laboratorio son completamente diferentes, cualquiera que enseñemos a usar, se hace obsoleto en poco tiempo.

La prueba PISA demuestra que, en todos los países, los conocimientos básicos son prácticamente los mismos. Difieren en la Historia y Geografía que son propias de cada país, pero los conocimientos básicos de lectura y escritura, matemáticas y ciencias son globales. Para poder combinar el aprendizaje en casa con la enseñanza presencial, se necesita usar las mismas evaluaciones en ambos sistemas. Los planes de estudio se pueden traducir a conjuntos de preguntas que permitan medir los razonamientos medibles en los temas evaluados. Estos bancos de preguntas necesitan cerca de 20 veces más preguntas de las usadas en una evaluación; lo que permite el escoger al azar por computadora, las evaluaciones que midan todos los temas requeridos. Será necesario actualizar periódicamente a los reactivos, para tomar en cuenta los descubrimientos científicos y tecnológicos que se vayan produciendo. La principal ventaja de los exámenes realizados por instituciones evaluadoras, es que el alumno va a preguntar al profesor sus dudas de los temas que le van a preguntar en las evaluaciones. Eso lo aprendí, cuando daba clases particulares, los estudiantes me decían esto no se lo entiendo al profesor; pero si estoy en mi clase, el estudiante trata de convencerme que sabe todo porque yo soy el que lo califica. Es preferible ser el bueno que le enseña a ser el malo que lo califica.

Dado que la Física es una ciencia basada en experimentos es necesario revisar los programas de estudio de Primaria, Se-

cundaria, Preparatoria y Licenciatura en temas de Física buscando ejemplos de actividades o experimentos que pueden realizarse en casa, con ayuda de una computadora conectada a Internet. La computadora llegó para quedarse y es un elemento de comunicación que permite la existencia de las redes sociales que actualmente convierten al mundo en una aldea global. Parte fundamental del proceso educativo, especialmente en Física Experimental es el trabajo en equipo, en problemas que requieren la cooperación de expertos en varias disciplinas; como son la mayoría de los problemas modernos.

La comunicación mediante Internet, con imagen y voz (Skype o Hangout) permite la comunicación entre grupos, observando los experimentos, compartiendo datos; pero, sobre todo, la interpretación de los mismos datos. Esta manera de interaccionar la hacíamos alrededor de una mesa, y ahora la hacemos alrededor de las computadoras. Estas actividades deben formar parte del proceso educativo, incluyendo problemas que requieran de experimentos simultáneos, datos complementarios y otras actividades que fomenten el trabajo en grupo. La evaluación de la capacidad de resolver un problema mediante un experimento seguirá requiriendo la presencia del estudiante en un laboratorio, para las actividades en las que es indispensable esta capacidad.

Actualmente los grandes centros de investigación, con inversiones billonarias, como el CERN, la NASA, Fermi Lab, presentan artículos con decenas de autores, mostrando la colaboración entre personas y países. La Astronomía es la que lleva el liderazgo en actividades globales, recordemos los datos del telescopio Hubble y próximamente tendremos un laboratorio orbital capaz de medir la energía y procedencia de los rayos cósmicos; que interaccionan con la atmósfera produciendo miles de partículas secundarias. Sus datos aclararan muchas dudas sobre el Universo.

La investigación en Física Experimental cambia según se desarrollan nuevos instrumentos conforme evoluciona la Tecnología, pero no se esperan cambios mayores en lo que llamamos Método Científico; la metodología de investigación no ha cambiado en lo esencial. La mayoría de los equipos experimentales están controlados por computadoras, podemos esperar que esta tendencia se mantenga dado que éstas incrementan continuamente sus capacidades; o sea, su rapidez de cómputo y el tamaño de su memoria.

Por su tipo de trabajo, los científicos interaccionan socialmente con sus estudiantes y con sus colegas con los que intercambian conocimientos y sugerencias de tipo profesional. Como seres humanos, dependen en mayor o menor grado de relaciones con parientes y amigos, con los que se reúnen con mayor o menor frecuencia. Las redes sociales mantienen estos contactos, aunque no siempre favorecen los contactos presenciales. La comunicación mediante Skype es casi comunicación presencial, ya que pueden observarse las caras y gestos corporales que tanto ayudan en la comunicación sin palabras que se establece en los contactos presenciales.

6. Ejemplos de metodologías educativas

Decir que enseñamos a razonar, es contundente; pero es mucho mejor aclararlo mediante algunos ejemplos de cómo se puede implementar en un tema conocido por todos. Podemos usar la enseñanza del Principio de Arquímedes como ejemplo de diferentes maneras que puede escoger el profesor para impartir su conocimiento:

Memorístico: “Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical hacia arriba, igual al peso del fluido desalojado por el cuerpo”.

Deductivo: Consideremos un volumen V en medio de un fluido en reposo, este volumen V de fluido tiene un peso P debido a la atracción gravitacional de la Tierra. Por estar en reposo, la presión en cada punto del fluido es constante, la fuerza neta ejercida por el fluido sobre el volumen V debe compensar exactamente su peso P , porque de no ser así, el volumen V estaría en movimiento. Es posible que este haya sido el razonamiento de Arquímedes cuando hizo su descubrimiento.

Inductivo: Mediante un experimento en el que medimos simultáneamente el volumen desplazado y el cambio en el peso del objeto. Con una probeta graduada podemos medir el peso de un volumen de agua para verificar que el agua limpia pesa un gramo/cm³. Colocando la probeta semillena sobre una balanza, podemos introducir parcialmente en la probeta un objeto cilíndrico y medir el incremento en la lectura de la balanza (fuerza sobre el objeto) y el volumen de agua desplazado en la probeta graduada. Sumergiendo más o menos el objeto, se pueden obtener varias parejas de valores de agua desplazada y fuerza sobre el objeto sumergido, mostrando que el peso del agua desplazada es igual al empuje sobre el objeto semisumergido.

Enseñanza por competencias: Se trata de enseñar al estudiante como aplicar sus conocimientos para resolver sus problemas. **Problema:** Calibrar un dinamómetro hecho con varias ligas. Queremos un dinamómetro que mida hasta 30 gramos con resolución de 1 gramo. Colgando un objeto cilíndrico con peso de 30 g de una liga observamos cuanto se estira. Si podemos leer cuanto se estira la liga, con precisión de un milímetro, necesitamos que se estire al menos 30 mm para tener una resolución de 1 g en el dinamómetro. Si se estiró menos, podemos alargar la liga poniendo varias en serie hasta lograr el estiramiento deseado. Podemos obtener la curva de calibración del dinamómetro colgando volúmenes conocidos de agua, o monedas de un peso mexicano con una masa de 4.0 gramos cada una.

Enseñanza Centrada en el Estudiante: Requiere conocer los antecedentes del estudiante, incluyendo los socio-económicos, para escoger la metodología más adecuada para él. Es muy eficiente, pero difícil de aplicar si el grupo es de muchos estudiantes.

En un estudio realizado en varias universidades en Estados Unidos, tratando de encontrar los factores comunes a cómo enseñaban sus mejores profesores (de acuerdo a la Vox Populi); llegaron a la conclusión que lo más importante era

que al profesor le entusiasmara el tema enseñado. Podemos recomendar entonces, que el profesor escoja la metodología con la que se sienta más a gusto, eso debe ayudarle a mostrar entusiasmo por el tema.

Enseñanza Invertida: El profesor prepara notas, dándoles a los estudiantes la información necesaria para entender un cierto tema. También les menciona algunas tareas para hacer en clase, lo que le permite al profesor asesorarlo o guiarlo en la solución de la tarea por realizar. Se invierten los papeles de la casa y la clase, en casa se estudia lo que se hubiera visto en clase y en clase se hace lo que se dejaba como tarea.

En mi versión de enseñanza invertida: Para cada capítulo del temario, defino de 25 a 30 preguntas que me permitan medir si se lograron los objetivos de razonamiento y/o resolución de problemas relevantes. Antes de cada clase, les reparto las preguntas a contestar, para que lean mi libro o el que les guste más, lo que evita que les repita lo que ya leyeron. Analizando pregunta por pregunta, contesto las dudas o las contestan en su pupitre. Al plantear la pregunta para que todos la resuelvan desde su lugar es posible revisar en unos cuantos ejemplos los preconceptos estudiantiles, de una manera muy eficiente; dando explicaciones personales o de grupo, según sea el caso. Es una enseñanza constructivista y personalizada.

Problema; Entonar copas o vasos con agua para formar una escala musical.

El problema así planteado sirve para verificar si los estudiantes son competentes para aplicar sus conocimientos. Dado que la enseñanza actual es básicamente memorística, son muy pocos los estudiantes que pueden resolver el problema. La principal dificultad consiste en la incapacidad de los estudiantes de pensar en cuál es la información requerida para resolverlo y como conseguirla. Fomenta el trabajo en equipo si se forman grupos de 3 o 4 estudiantes, en grupos mayores solamente trabajan 2 o 3 de los participantes. Es aprendizaje basado en el estudiante, si el profesor permite una primera discusión entre ellos, para después darles la guía que requiera cada equipo. Si algún integrante sabe afinar instrumentos musicales, su equipo tiene casi resuelto el problema.

Para motivar la resolución del problema, es conveniente escuchar algunas melodías. Existen en Internet videos de músicos tocando hermosas melodías mediante copas entonadas. (Sugar Plum Fairy http://www.youtube.com/watemach?v=QdoTdG_VNV4, Para Elisa <http://www.youtube.com/watch?v=47TGXJoVhQ8>, Moonlight Sonata <http://www.youtube.com/watch?v=uiGNnWldhn8>).

Para hacer un instrumento sencillo, con una sola escala musical (8 copas), necesitamos que el estudiante encuentre la siguiente información:

1. ¿Cuáles son las frecuencias de las notas musicales?
2. ¿Cómo mido la frecuencia del sonido emitido por una copa?
3. ¿Cómo es el sonido de copas grandes y chicas, gruesas o delgadas?
4. ¿Copas iguales, suenan igual?

5. ¿En que difiere el sonido producido frotando o golpeando a una copa?
6. ¿Por qué cambia el tono de una copa, al agregarle agua?
7. ¿Qué tanto se puede cambiar el tono de una copa, agregándole agua?

Es posible que esta información ya sea conocida por algunos estudiantes, con lo que se harán competentes en el uso de la misma. Un buen método para llegar a estas preguntas es comenzar por el resultado buscado, o sea, la pregunta 7. La 7 lleva a la 6, hasta completar la información requerida. Investigamos usando la última pregunta, para darnos cuenta que información extra necesitamos.

Respuestas a las preguntas:

1. ¿Cuáles son las frecuencias de las notas musicales?

Las frecuencias en Hertz de tres escalas musicales son:

Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si
262	294	330	349	392	440	494
523	587	659	698	784	880	988
1047	1175	1319	1397	1568	1760	1976

2. ¿Cómo mido la frecuencia del sonido emitido por una copa?

Se puede bajar en Internet, el programa Audacity para editar sonidos, sin costo. El programa graba los sonidos y los presenta en dos ejes: el vertical muestra la intensidad de la onda sonora y el horizontal el tiempo transcurrido. La versión 1.2.6 permite leer tiempos con una resolución de 1 microsegundo. Marcando con el ratón un cierto instante, aparece el valor del tiempo en la parte baja. Si el sonido tiene una frecuencia fundamental, podemos medir el tiempo en que se muestran 10 o 100 oscilaciones completas, dividiendo entre 10 o 100 sacamos cuánto vale el período T del sonido y el recíproco de T es la frecuencia $f = 1/T$.

También podemos pedirle al programa que nos diga las frecuencias en un intervalo de tiempo. Se marca con el ratón el intervalo que se desea analizar, se pica la pestaña analizar y aparece un cuadro con opciones, se escoge analizar espectro. Aparece el espectro en frecuencias, y colocando el ratón en el primer pico, aparece debajo la frecuencia de dicho pico.

3. ¿Cómo es el sonido de copas grandes y chicas, gruesas o delgadas?

Podemos considerar a la copa como formada por placas delgadas de vidrio dobladas, o sea que tienen modos normales de oscilación, que se pueden excitar por fricción o golpes. Los tonos de menor frecuencia corresponden a las copas más grandes y los más agudos, a las más pequeñas. Las copas gruesas emiten menos sonido que las delgadas, para la misma intensidad del golpe; la amplitud de la vibración de una copa gruesa es mucho menor que la de una copa delgada. Mientras más delgada el sonido es más agradable.

4. ¿Copas iguales suenan igual?

Tomando cinco copas para coñac grandes, se midieron las siguientes frecuencias para el primer pico obtenido en el análisis de Fourier hecho con el programa Audacity: 842, 880, 883, 907 y 960 Hz. Notamos que la segunda copa está entonada para la nota La (880 Hz) y que la variación entre copas es relativamente grande para propósitos musicales. Las copas utilizadas tienen 66 mm de diámetro en la boca, 100 máximo diámetro y 100 mm de profundidad. Parecen iguales.

5. ¿En que difiere el sonido producido frotando o golpeando a una copa?

Grabando con Audacity ambos sonidos (Fig. 1), se observa que el sonido producido golpeando con una regla de madera, presenta un decaimiento exponencial de la intensidad con el tiempo, asociado a la disipación de la energía de un movimiento armónico, mostrado en el renglón superior. En cambio, el sonido producido por fricción presenta cambios en la intensidad, asociados a cambios en la fuerza de fricción con el dedo utilizado, mostrado en el renglón de en medio. También se nota que al dedo le toma cierto tiempo lograr la emisión de sonido, el paquete de 8 máximos fue el utilizado para realizar el análisis de Fourier de las frecuencias emitidas.

La Fig. 2 muestra el análisis de las frecuencias emitidas por la copa vacía, golpeada con regla de madera o frotada con dedo humedecido hasta lograr la resonancia (paquete de 8 máximos). Se observa que la frecuencia fundamental es la misma, pero cambia el timbre del sonido emitido, o sea, su contenido armónico.



FIGURA 1. Grabación del Sonido emitido al golpear la copa vacía en el renglón superior, el renglón inferior muestra el sonido frotando el borde de la copa vacía.

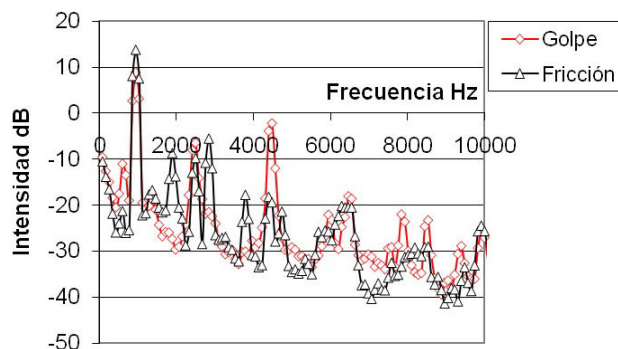


FIGURA 2. El tono fundamental es el mismo para la copa vacía golpeada o frotada, pero cambia el contenido armónico, o sea, el timbre del sonido.

6. ¿Por qué cambia el tono de una copa, al agregarle agua?

Esto depende de cuál es el efecto del agua en los modos de vibración de las paredes de la copa. Si el agua impide la vibración de la parte sumergida de las paredes, equivale a tener superficies vibrando con menos área y la frecuencia debe subir. Si el agua incrementa la masa efectiva de las partes sumergidas entonces la frecuencia de oscilación debe disminuir. Lo que se mide es que la frecuencia disminuye y el efecto del agua es incrementar la masa efectiva de las partes vibrando, disminuyendo la frecuencia fundamental o tono.

En la Fig. 3 se observa que baja la frecuencia fundamental, y cambian las frecuencias mayores, cambiando el timbre del sonido emitido. También se nota una menor intensidad en las frecuencias mayores asociadas a un decaimiento más rápido de la intensidad del sonido

7. ¿Qué tanto se puede cambiar el tono de una copa, agregándole agua?

Para medir este cambio se llenaron 3 copas de vino y de coñac, con diferentes fracciones de agua de su volumen total y se obtuvieron las curvas de la Fig. 4. Se nota que las

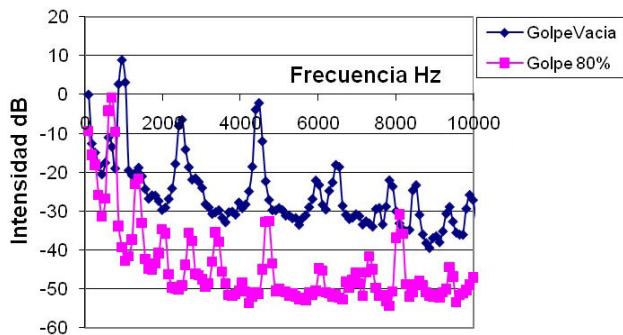


FIGURA 3. Cambio en las frecuencias del sonido medidas con la copa de coñac vacía y llena al 80 % con agua.

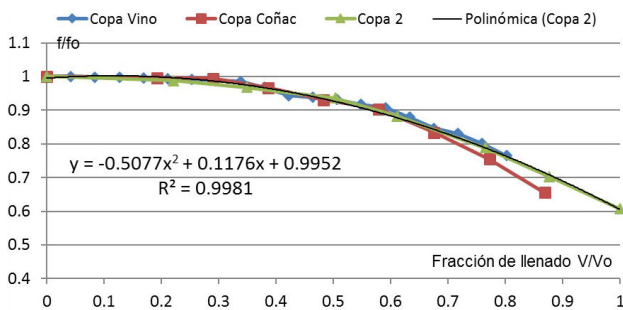


FIGURA 4. Frecuencias relativa f/f_0 en Hertz, medidas en el tono fundamental del sonido analizado con el programa Audacity, con copas con agua en diferentes cantidades. La frecuencia disminuye rápidamente para copas llenas más del 40 %.

curvas son muy parecidas y que la frecuencia mínima es cercana a $3/4$ de la frecuencia máxima f_0 , frecuencia de la copa vacía. Llenando la copa más del 90 % reduce mucho la intensidad del sonido emitido e incrementa el contenido armónico, con sonidos poco agradables. Las copas de vino miden 70 mm de diámetro en la boca, 78 mm máximo diámetro y 76 mm de profundidad.

Para tener una escala musical, se comienza por medir la frecuencia de las copas y vasos vacíos. Comparando con las frecuencias de las notas de la escala musical, podemos estimar la cantidad de agua necesaria para obtener la nota deseada, ya que conocemos su frecuencia sin agua. El sonido se oye mejor mientras menos agua tenga la copa, por eso el primer paso es medir las frecuencias máximas f_0 de las copas vacías, si queremos tener una marimba de copas. También se pueden usar vasos o botellas delgadas, para que emitan sonido por más tiempo. Con 7 copas se hizo un instrumento con el que pudieron reproducirse el “Himno a la Alegría” y la “Marcha de los Santos” [17].

7. Aportaciones

Definir la calidad en la enseñanza como su capacidad para enseñar a razonar. Este enfoque cubre tanto la enseñanza por competencias como la centrada en el estudiante. Cada tema del programa es un pretexto para enseñar a deducir o a inducir. El profesor decide si lo deduce o lo induce a partir de una demostración o datos experimentales.

Las demostraciones ayudan a inducir el placer de entender, ya que suelen presentar fenómenos discrepantes con la intuición.

El encontrar evaluaciones que permitan medir el razonamiento, ayuda al profesor a encontrar la mejor estrategia para el aprendizaje. Si el estudiante tiene todos los reactivos de evaluación, no se siente frustrado en los exámenes.

El repartir las preguntas a contestar antes de la clase, permite que el estudiante lea el libro que le parezca más claro. El lee en casa lo que el maestro daría en clase, y en clase puede resolver con ayuda del maestro, las preguntas que serían su tarea.

Los experimentos permiten apreciar la capacidad de razonar de los estudiantes, ya que necesitan combinar todo lo que saben en la realización e interpretación de los mismos. Pero solo se aprecia siendo el Profesor de Laboratorio, cualquiera repite lo que dice un libro, pero no cualquiera explica un resultado inesperado en un experimento. Después de realizar experimentos que resuelvan problemas, interpretarlos y comunicarlos, se siente al placer de entender algo; el cual es una herramienta didáctica poderosa. Posiblemente queramos investigar otro problema, lo cual nos engancha en una actividad muy satisfactoria. Es muy agradable trabajar en lo que nos causa placer.

1. L.C. McDermott, *Am. J. Phys.* **58** (1990) 734.
2. D. Hestenes, *AIP Conf. Proc.* **399** (1997) 935. <http://dx.doi.org/10.1063/1.53196>
3. M. Zeilik, C. Schau, N. Mattern, *Phys. Teach.* **36** (1998) 104.
4. D.E. Meltzer, V.K. Otero, *American Journal of Physics* **82** (2014) 633.
5. T. Moreno, *Perfiles Educativos* **124** (2009) 69-92.
6. D. Toback, A. Mershi, I. Novikova, *Phys. Teach.* **43** (2005) 594; <http://dx.doi.org/10.1119/1.2136456>
7. B. Schwartz *AIP Conf. Proc.* **399** (1997) 113; <http://dx.doi.org/10.1063/1.53124>
8. D. MacIsaac, *Phys. Teach.* **48** (2010) 143.
9. J. Marshall, J. Dorward, *J. Am. J. Phys.* **68** (2000) S27; <http://dx.doi.org/10.1119/1.19516>
10. E. Malina, D. Plunk, R. Lindell, *AIP Conf. Proc.* **818** (2006) 19.
11. Z. Hrepic, P. Adams, N. Zeller, N. Talbott, G. Taggart, L. Young, *AIP Conf. Proc.* **818** (2006) 15.
12. H.G. Riveros, *Lat. Am. J. Phys. Educ. Suppl. I 6* (2012) 59-62.
13. Enseñanza Invertida http://namathis.com/flipped_classroom.php
14. UNAM en línea <http://www.unamenlinea.unam.mx/>
15. Coursera <https://www.coursera.org/>
16. PISA <http://www.inee.edu.mx/index.php/proyectos/pisa/que-es-pisa>
17. Riveros: Como entonar una copa musical. <https://www.youtube.com/watch?v=Fq6Oy6D2XS0>