

I CONGRESO IBEROAMERICANO DE DOCENTES

CONGRESO VIRTUAL DEL 26 NOVIEMBRE AL 08 DICIEMBRE DE 2018

ALGECIRAS (CÁDIZ) DEL 06 AL 08 DICIEMBRE DE 2018

Actas del Congreso Iberoamericano de Docentes

Renovación de un curso de laboratorio de mecánica
mediante análisis de video y realidad aumentada.

Sandra Luz Álvarez Pozos

Luis Navarrete Navarrete

Mario Flores Pérez

Martín Hugo Salazar Zepeda

ISBN: 978-84-948417-0-5

Edita **Asociación Formación IB.**

Coordinación editorial: **Joaquín Asenjo Pérez, Óscar Macías Álvarez, Patricia Ávalo Ortega y Yoel Yucra Beisaga**

Año de edición: **2018**

Presidente del Comité Científico: **César Bernal.**

El I Congreso Iberoamericano de Docentes se ha celebrado organizado conjuntamente por la Universidad de Cádiz y la Asociación Formación IB con el apoyo del Ayuntamiento de Algeciras y la Asociación Diverciencia entre otras instituciones.

<http://congreso.formacionib.org>



red
iberoamericana
de docentes



formaciónib))

Renovación de un curso de laboratorio de mecánica mediante análisis de video y realidad aumentada.

Sandra Luz Álvarez Pozos¹, Luis Navarrete Navarrete², Mario Flores Pérez³,
Martín Hugo Salazar Zepeda⁴

¹Departamento de Física, Universidad de Guadalajara, México
(sandixal@yahoo.com.mx)

²Departamento de Física, Universidad de Guadalajara, México
(luis.33navar@gmail.com)

³Departamento de Física, Universidad de Guadalajara, México
(mario.fperez@academicos.udg.mx)

⁴Departamento de Física, Universidad de Guadalajara, México
(martin.salazar@academicos.udg.mx)

Resumen.

En el presente trabajo evaluamos la integración de características que se consideran dentro de lo que se denomina “realidad aumentada” (augmented reality), a las actividades de los estudiantes en un curso introductorio de laboratorio de mecánica. La técnica consiste en agregar información mediante gráficos (vectores), sonido y ventanas en las que se despliega información de manera animada, a través del uso de software. Los datos correspondientes a la información mostrada, pueden ser introducidos de diversas maneras: manualmente, a través de la definición de funciones, mediante análisis de fotografías y videos digitales, mediante sensores e interfaces, o puede ser definida a partir de la información introducida mediante operaciones matemáticas. Para evaluar los resultados alcanzados por los alumnos al utilizar esta técnica, utilizamos el TUG-K -un cuestionario de amplio uso en física educativa- ya que el hacerlo nos permite compararlos con datos obtenidos utilizando otras técnicas y herramientas de aprendizaje. Los resultados obtenidos muestran cómo la modificación del curso original, mediante la gradual inserción de las TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los principios básicos de mecánica, ha conducido a que los estudiantes manifiesten mayor interés en participar en las actividades que se realizan en el curso, además de haberse incrementado el índice de Hake (utilizado en la evaluación de recursos educativos y metodologías de enseñanza de las ciencias) al aplicarles el cuestionario TUG-K (un cuestionario estandarizado utilizado en física educativa). Consideramos que esto es importante, ya que cada vez es mayor el número de estudiantes que tienen acceso –ya sea a través de la escuela o en su hogar- a computadoras y otros dispositivos que permiten el acceso de datos.

1. Introducción

Al menos cuatro décadas han transcurrido desde que se introdujo el uso de las TIC en educación (y en los laboratorios de física en particular), aunque sigue considerándose que su impacto en el proceso de enseñanza-aprendizaje no ha sido el esperado. Algunos investigadores creen –en base a investigaciones realizadas- que en gran medida esto se debe a la forma en que han sido utilizadas, concluyendo que las tecnologías que mejor se han “integrado” en las aulas son aquellas que podrían considerarse “versiones digitales” de herramientas sobradamente conocidas y usadas desde hace mucho tiempo, tales como la pizarra digital interactiva y el libro de texto digital, las cuales son apoyadas por las administraciones educativas, pero cuyo

potencial innovador en el proceso educativo es escaso (Estebanell, Ferrés, Cornellá y Codiga, 2012). Aunque menos conocida, la situación es diferente en los laboratorios de enseñanza, ya que el desarrollo de tecnología ha permitido que en ellos se cuente cada vez con mejores instrumentos para la captura automática y análisis de datos, entre los que podemos mencionar sensores, interfaces, computadoras y software. Sin embargo, en este caso es la falta de profesores con tiempo disponible para aprender a desarrollar actividades que incluyan el uso de tales tecnologías lo que impide su mejor aprovechamiento. En tales casos, queda como alternativa utilizarlas y evaluar el impacto que tiene su uso en el aprendizaje de los alumnos, y en base a dicha evaluación comenzar a plantearse metodologías alternativas para su utilización.

1.1 Antecedentes

En el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI) de la Universidad de Guadalajara, México, los cursos de las asignaturas de física básica correspondientes a los planes de estudio de diversas carreras de ciencias e ingeniería se encuentran a cargo del Departamento de Física. Los cursos han sido divididos en tres categorías: teoría, taller de resolución de problemas y laboratorio. En los llamados “laboratorios docentes de física”, hemos trabajado desde hace dos décadas auxiliándonos con interfaces y *software* (Data Studio y Logger Pro) en la toma y análisis de datos, durante la realización de las prácticas correspondientes a los cursos básicos de física, específicamente al de mecánica. Estas herramientas permiten realizar una gran variedad de actividades con precisión y rapidez, pero requieren un conocimiento previo de los conceptos fundamentales de mecánica y entrenamiento en el uso de los equipos. Por tener -en el caso del CUCEI- severas limitaciones en el tiempo asignado para los cursos de laboratorio de física (disponemos de únicamente dos horas a la semana) optamos por buscar alternativas que permitan a los estudiantes adquirir una preparación previa a sus actividades en el laboratorio. Inicialmente comenzamos diseñando y utilizando simulaciones que permiten a los estudiantes tener una visión previa de los instrumentos de laboratorio que luego utilizarán. Además, obtienen datos a partir de su interacción con las simulaciones, los cuales pueden ser usados para practicar con el *software* que posteriormente utilizarán en la captura y análisis de datos. Sin embargo, este proceso es lento y requiere que los alumnos realicen dos veces la misma actividad (una de manera “virtual” y otra ya en el laboratorio).

Alternativamente, desde el año 2013 comenzamos a utilizar el análisis de video (AV) para que los alumnos aprendieran a utilizar el *software* (Logger Pro) en el análisis de datos. En la enseñanza de la física el AV se utiliza principalmente para obtener y analizar datos experimentales, los cuales pueden –mediante el software apropiado- compararse con predicciones teóricas, lo cual ayuda a que los estudiantes adquieran habilidades analíticas en el laboratorio. Durante su entrenamiento los estudiantes utilizan un video (de breve duración) en el cual ha sido grabado el movimiento del objeto, lo abren en un programa de computadora apropiado (Logger Pro) y establecen una escala y marco de referencia para los datos de posición. Entonces examinan el video cuadro por cuadro y rastrean objetos de interés utilizando el mouse. Las posiciones correspondientes a cada instante y los datos generados mediante el seguimiento, son analizados a través de graficación, ajuste de curvas, cálculos estadísticos y definen otros parámetros útiles en la descripción del movimiento tanto de manera directa a partir de los datos de posición, como de sus derivadas.

Evaluaciones previamente realizadas mostraron que los estudiantes obtenían resultados similares -al aplicar un cuestionario de uso común en física educativa para evaluar la adquisición de conceptos básicos acerca del movimiento-, por lo que aunado

al hecho de que es una técnica más directa y fácil de implementar, la adoptamos para trabajar en el laboratorio de mecánica. Además, para los profesores el cambio del uso de simulaciones al de análisis de video fue sencillo, ya que a uno de los programas que usábamos para capturar y analizar datos (Logger Pro) se le agregó la capacidad de analizar video, y a que el resto del equipo requerido consistía en una cámara fotográfica digital (con capacidad de capturar pequeños videos). Fue así como –a pesar del limitado tiempo disponible para los cursos del laboratorio- pudimos incluir más casos y tipos de movimientos, incluyendo aquellos que ocurren en el plano y resultan difíciles de analizar de manera directa utilizando sensores.

Después de cuatro años de trabajar con el programa Logger Pro utilizándolo para capturar datos -tanto mediante el uso de interfaces como a partir de videos-, graficarlos y analizarlos, encontramos que una de las características poco conocidas, pero muy interesantes de ese programa, consiste en permitir sobreponer vectores sobre los videos utilizados. Además, permite incorporar ventanas anexas donde pueden ser desplegados los valores de los parámetros utilizados en la descripción, y otra dónde puede ser mostrada una animación para recrear el movimiento estudiado. Esto permite aumentar el realismo en las actividades de preparación previa a la realización de prácticas, ya que los modelos “teóricos” estudiados en las aulas, pueden ser experimentados fácilmente y los datos obtenidos pueden analizarse utilizando herramientas tales como cálculo diferencial e integral, cálculo vectorial, ecuaciones diferenciales y cálculos estadísticos. El video grabado o simplemente utilizado durante la actividad es enriquecido al mostrar sobre él los parámetros vectoriales directamente medidos (posición) o introducidos (manualmente o mediante sensores) y los obtenidos a partir de ellos, tales como velocidad, aceleración, fuerza, etc. Buscando información sobre cómo aprovechar con fines educativos este nuevo atributo del *software* que utilizamos, encontramos que lo que permite realizar puede ser incluido en lo que llaman características de “realidad aumentada”. Ahora bien, ¿podemos considerar como realidad aumentada esa característica del programa?

1.2 Algunas definiciones y características de la realidad aumentada

Son varias y un tanto disímiles las definiciones que se han elaborado sobre lo que se considera realidad aumentada. Mientras que algunas de ellas enfatizan el papel que juega la tecnología, otras destacan sus aplicaciones específicas. Reinoso ha elaborado una definición que incluye y hasta cierto punto aclara tal diversidad de definiciones (Reinoso, 2012). Para él, realidad aumentada (RA) es el conjunto de métodos y técnicas que, mediante el uso de herramientas de la información y la comunicación, permiten complementar escenas del mundo real con información digital en forma de texto, imagen, gráficos, vídeo y modelos 3D, contribuyendo a que el individuo adquiera una mejor percepción de la realidad, al permitirle profundizar en el grado de conocimiento de su entorno. Para conseguirlo, se han desarrollado programas que permiten su aplicación en diversos ámbitos, tales como la industria aeroespacial, el entretenimiento, la milicia, los museos, el cine, el marketing, la práctica de la medicina, etc.

En el ámbito de la enseñanza de las ciencias, cabe destacar que la RA tiene entre sus objetivos superponer objetos virtuales o información sobre los objetos físicos o entornos, lo cual permite la visualización de conceptos invisibles o eventos, de manera que los estudiantes podrían visualizar conceptos abstractos o fenómenos no observables tales como moléculas, vectores y símbolos (Chi-Poot and Martin-González, 2014). La visualización y observación de estos objetos reales enriquecidos con información proveniente de medios digitales, tiene el potencial para mejorar en los estudiantes la comprensión de fenómenos o conceptos abstractos e invisibles (Wu,

Wen-Yu, Chang y Liang, 2012). En enseñanza de las ciencias, son relativamente pocas las aplicaciones desarrolladas, y la mayoría están orientadas a la visualización tridimensional, por ejemplo, de moléculas o campos vectoriales. En el área de física se han realizado experiencias con niños de primaria acerca de la fuerza y su relación con el movimiento (Enyedy, Delacruz, Girlie and Kumar, 2013), así como en la enseñanza del electromagnetismo (Techakosit, Somsak & Prachyanun, 2015)

Es difícil encontrar referencias explícitas de las posibilidades del programa Logger Pro para generar recursos educativos que utilicen realidad aumentada en el área de enseñanza de la física, sin embargo, hay varias referencias con respecto a un programa de acceso libre antecesor de este, denominado Tracker (Moreno, 2015). Tomando en cuenta los propósitos y características de la realidad aumentada mencionados anteriormente, podemos considerar que los recursos que con él se consiguen cumplen con algunas de tales especificaciones, ya que –aunque no en tres dimensiones– enriquecen la información realista de los videos, mostrando en ellos las propiedades vectoriales de los parámetros asociados al movimiento de los objetos, tanto en reposo como en movimiento. Miro y Matjaz han desarrollado aplicaciones utilizando sensores e interfaces de Vernier y el programa Logger Pro para capturar datos y mostrarlos en cuadros de pantalla del programa, los cuales se combinan con imágenes introducidas artificialmente para crear recursos de RA en la enseñanza de la biología (Puhek y Debevc, 2011). A diferencia de las aplicaciones espectaculares de la realidad aumentada, en las cuales a los objetos presentados en tiempo real (por ejemplo en los museos o aulas de clases, dónde a lo que la persona observa en el momento se le agrega información que previamente se ha obtenido y se dispone en forma de textos, gráficas, imágenes o incluso video), en la enseñanza de la física –específicamente en mecánica– no son escenas reales a las que se les añade información, sino a situaciones que han sido previamente capturadas en video. Tal información ha sido obtenida ya sea a partir del análisis del mismo video, o mediante sensores. Además, la información que se integra al video está representada mediante vectores, esto es, a través de herramientas utilizadas en el estudio de la física. Por tanto, aunque con Logger Pro no se consiguen visiones tridimensionales, la incorporación de símbolos (vectores) en el video permite enriquecer la información sobre los procesos que han sido capturados en el video, lo cual permite realizar un análisis detallado, así como la elaboración de reportes o presentaciones interactivas, lo cual no deja de ser una novedad en lo que respecta a la enseñanza de la física.

1.3 Síntesis de resultados anteriores

En el caso de los cursos de laboratorio de física en el CUCEI de la Universidad de Guadalajara –especialmente en el de mecánica– se ha promovido el equipamiento de los laboratorios –aunque sea de manera modesta– y varios maestros han mostrado interés en conocerlo en forma detallada, sobre todo lo que evoluciona constantemente: el *software* utilizado en la captura y análisis de datos. Esto se debe a que durante la planificación del desarrollo del *software* se han tenido en cuenta muchos resultados de la investigación desarrollada en física educativa, así como sobre el uso y potencialidades de las TIC en educación. De manera que, para desarrollar tales potencialidades, es necesario buscar información en artículos, reportes de investigación y textos sobre la experiencia en el uso técnico y metodológico de dichos instrumentos.

Podemos distinguir claramente tres beneficios conseguidos al utilizar interfaces y el *software* asociado a él en un laboratorio de mecánica:

- a) Toma de datos en tiempo real y su despliegue mediante tablas y gráficas.
- b) El análisis estadístico de los datos, su interrelación y la definición de nuevos parámetros mediante operaciones que antes solamente se realizaban en el aula, como derivar e integrar.

- c) El despliegue de la información obtenida tanto directa como indirectamente con la finalidad de elaborar reportes o “presentaciones”. En el presente trabajo nos enfocamos en este aspecto.

Como anteriormente mencionamos, fue a partir de hace más de 20 años que comenzamos a utilizar interfaces y computadoras en el laboratorio docente de física. Inicialmente utilizábamos el equipo de manera tradicional, pero con el tiempo vimos que hacerlo de esa manera resultaba ineficiente y costoso, ya que frecuentemente se dañaba el equipo. Así que tratamos de diseñar actividades que remediaran esta situación mediante la preparación de los alumnos antes de que realizaran las prácticas en el laboratorio. Comenzamos elaborando simulaciones, en las cuales se tomaban datos representando de la manera más realista posible el uso de instrumentos de captura (primero utilizando cintas métricas y cronómetros y luego interfaces) que luego eran graficados y analizados utilizando software. Esta labor era muy entretenida, ya que elaborar una simulación podía tomar cientos de horas, y los alumnos debían realizar la actividad dos veces, una de manera virtual y otra en el laboratorio utilizando los equipos e instrumentos.

En una segunda etapa utilizamos el análisis de video como alternativa para la preparación previa de los alumnos. Se utilizaban videos en los que previamente se grababa una experiencia de laboratorio (o de bajaba de la red) y este era analizado utilizando software para graficar la posición del objeto y a partir de ella se calculaban otros parámetros. Puesto que la grabación de un video es relativamente simple, esto permitió aumentar a más del doble las actividades realizadas en el laboratorio, además de que se consiguió aumentar sus alcances, ya que se podían contrastar rápidamente los resultados obtenidos con lo esperado según los modelos teóricos. Además, el análisis de video permite realizar y analizar actividades reales, y los alumnos no están limitados a trabajar en el laboratorio, ya que muchas de ellas pueden ser realizadas en el hogar o espacios públicos como la calle, parques, albercas o canchas para la práctica de deportes. En esta etapa se elaboró un manual (Navarrete, Puerto, González, Camelo y Flores, 2014) en el cual se ejemplificaba el uso de esta técnica para estudiar la cinemática y dinámica de casos como movimientos en planos sin y con fricción, la caída libre, el tiro parabólico, el oscilador armónico, colisiones, péndulos simples y acoplados...entre otros, y en el cual se planteaban ejercicios en base al análisis de videos ya disponibles o se promovía su grabación por parte de los estudiantes.

De manera casi fortuita encontramos que el programa que usamos para analizar videos (Logger Pro) permitía agregar vectores, así como ventanas de animación e información gráfica y comenzamos a introducirlos de manera emergente en las actividades de preparación de los estudiantes, lo cual condujo a resultados sorprendentes en la aplicación de un cuestionario estandarizado utilizado en la evaluación de recursos educativos en física (TUG-K). Los mejores resultados obtenidos en cada una de estas etapas se muestran más adelante en la Tabla 1.

1.4 Objetivo del presente trabajo.

Ante los resultados obtenidos al utilizar el análisis de video enriquecido con las posibilidades de realidad aumentada que permite el programa Logger Pro, nos dimos a la tarea de modificar las actividades del manual de actividades previamente elaborado, incorporando en los ejemplos -y proponiendo en las actividades- nuevos ejercicios que permiten describir el movimiento de manera más completa y amena a los estudiantes. En este trabajo presentamos una evaluación previa de los resultados obtenidos al utilizar

el manual “renovado”, usando el mismo cuestionario e instrumento de evaluación utilizados anteriormente, para poder comparar tales resultados.

2. Elementos que se tomaron en cuenta en la modificación de la propuesta del curso.

Antes de realizar las modificaciones al curso, se tuvieron en cuenta –entre otros factores-, los resultados obtenidos al aplicar el pretest TUG-K al inicio del curso, en agosto de 2017. Además, se aplicó un breve cuestionario con la finalidad de conocer si en cursos anteriores los estudiantes habían recibido instrucción acerca del álgebra de vectores, así como de la cinemática de un cuerpo que se encuentra bajo la acción de fuerzas. Aunque la mayoría de ellos recordó vagamente solamente la representación gráfica de los vectores y la caída libre de un cuerpo, los resultados que obtuvieron en el TUG-K, mostraron una fuerte carencia en el dominio en la relación entre los parámetros cinemáticos que se utilizan para describir el movimiento. Por ello, se propuso incluir una breve introducción a dichos temas, la cual consistió en la definición y propiedades de la suma vectorial en términos de sus componentes cartesianas, así como su representación gráfica utilizando el programa Logger Pro. También se propuso una introducción a las ecuaciones de la recta, la parábola, así como a las funciones seno, coseno, exponenciales y logarítmicas, en las cuales se enfatizó en su graficación utilizando el programa antes citado.

Por otra parte, aunque el contenido básico del curso se conservó respecto a la versión anterior – en la cual se utilizaban principalmente sensores para tomar datos, y el análisis de video se utilizaba principalmente para preparar a los estudiantes en el uso de software- se profundizó en las ventajas que ofrece la toma de datos a partir del video en el cual se ha grabado la realización de una práctica o experiencia acerca del movimiento de los objetos, entre las cuales destacan:

- La posibilidad de incluir el estudio de movimientos que ocurren en el plano –a diferencia de los sensores (con los que contamos) que solamente permiten tomar datos en la dirección del movimiento del objeto.
- En consecuencia, la posibilidad de estudiar movimientos en el plano permite ejemplificar de manera “natural” el uso de vectores, lo cual a su vez permite relacionar de manera directa los procedimientos que se utilizan normalmente en las aulas al estudiar movimientos bidimensionales con su análisis en el laboratorio.
- Mediante el uso de software – Logger Pro, específicamente- dejan de ser solamente un elemento “teórico” ya que la representación gráfica de los parámetros cinemáticos (tales como posición, velocidad y aceleración) y dinámicos (tales como fuerza y cantidad de movimiento) mediante ellos permite describir la evolución de tales propiedades cuando el cuerpo está en movimiento.
- Fueron agregados nuevos videos a las actividades –con mejor resolución que los anteriores-, algunos de los cuales fueron grabados en el laboratorio y otros fueron incorporados de la página <https://serc.carleton.edu/dmvideos/videos.html>
- En base a un análisis sobre los resultados obtenidos anteriormente en el cuestionario TUG-K, se trató de enfatizar en las relaciones que hay entre los diversos parámetros cinemáticos y dinámicos utilizados para describir el movimiento, así como en las relaciones existentes entre las operaciones de derivar e integrar y su representación geométrica mediante la pendiente de rectas tangentes y áreas delimitadas por rectas y curvas que representan los parámetros físicos. En la Figura 1, tratamos de resumir algunas de tales

relaciones de una manera simple, pero que puede ser utilizada como una guía por los estudiantes.

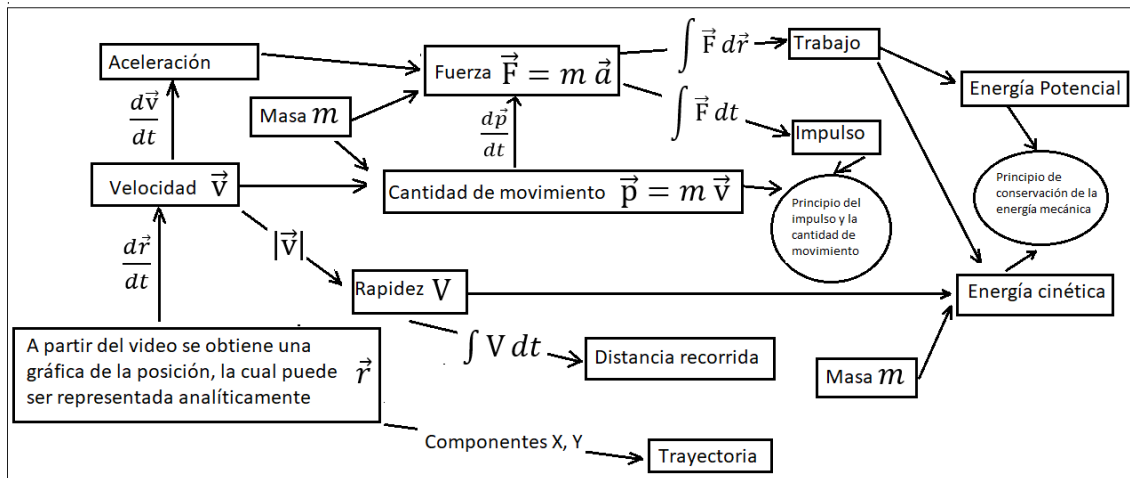


Figura 1: Mediante el análisis de video, pueden obtenerse directamente gráficas correspondiente a las posiciones de cuerpos durante su movimiento, así como su ajuste mediante ecuaciones matemáticas. A partir de ellas, pueden calcularse ya sea de manera analítica o numérica (utilizando software) los demás parámetros cinemáticos y dinámicos (conociendo las masas de los cuerpos) que proporcionan una descripción completa del movimiento de los cuerpos o su interacción.

Las actividades propuestas –algunas de las cuales se plantearon como tareas- se integraron en un manual, el cual fue puesto a disposición de los estudiantes en una página de la plataforma Schoology. En dicha plataforma fueron subidos también videos sobre el uso del programa Logger Pro para realizar tales actividades, así como los videos requeridos. En general –en base a experiencias previas- el material puede ser utilizado por los estudiantes en sus respectivas casas en caso de que no puedan asistir por motivos de salud o en casos de emergencia que se presenten ante la falta de seguridad en la ciudad (cuando incluso ha cerrado la universidad), lo cual permite que el alumno realice de manera casi normal las actividades del curso.

En una etapa posterior, los estudiantes realizan tres actividades en el laboratorio, en las cuales aprenden a utilizar sensores para la captura de datos, y su análisis les resulta relativamente simple, ya que han aprendido a realizarlo a partir de sus actividades previas. Es importante mencionar que las prestaciones del programa Loger Pro en cuanto a realidad aumentada son útiles solamente en el caso de cursos de mecánica y electrostática, o al menos es lo que hemos desarrollado. En la Figura 2 mostramos como ejemplo la página de una de las actividades mostradas como ejemplo, aunque realmente en una imagen estática es difícil mostrar la dinámica que se consigue al utilizar estas herramientas.

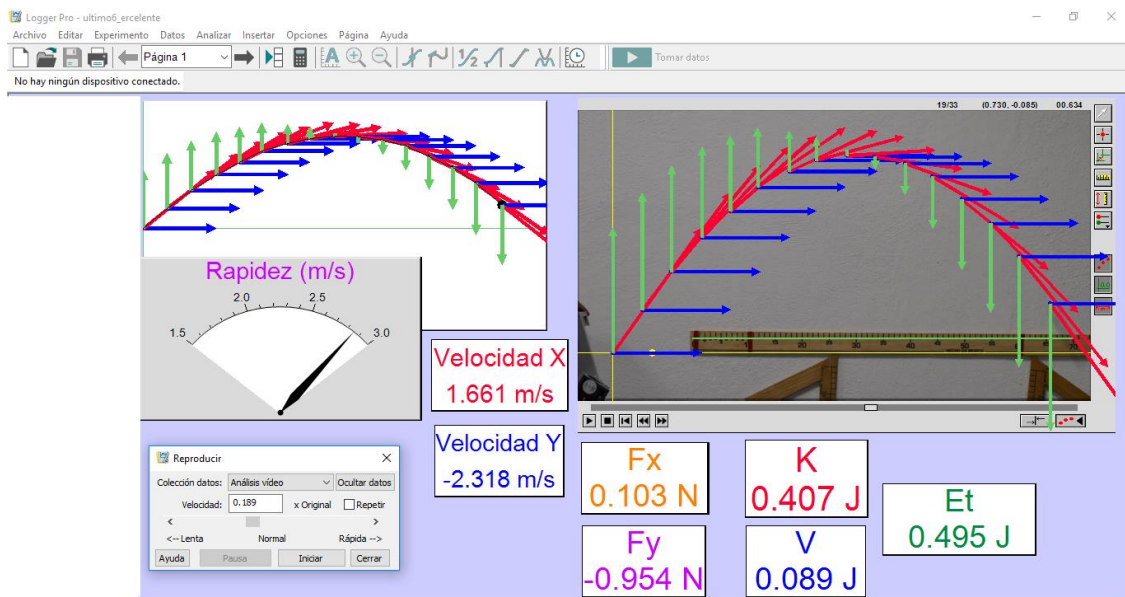


Figura 2: Imagen capturada de una pantalla del programa Logger Pro, en el cual se ha insertado y analizado el video correspondiente al tiro parabólico de un balón. Sobre la ventana en la que se muestra el video, pueden ser sobrepuestos vectores que describen la cinemática y dinámica del objeto conforme se mueve. En la figura se muestran únicamente el vector correspondiente a la velocidad y sus componentes cartesianas. A la izquierda aparece la imagen de una animación del movimiento. Abajo se muestran algunas ventanas en las que pueden ser desplegados el valor de parámetros vectoriales y escalares.

3. Primeras evaluaciones del uso del material de estudio renovado.

Evaluar la efectividad del material de estudio al ser utilizado por los alumnos del curso de laboratorio es complicado, ya que los alumnos reciben instrucción en las aulas, algunos solamente en un curso de teoría y otros también en un curso sobre resolución de problemas. Por ello, utilizamos el cuestionario al que hemos recurrido desde hace más de diez años en la evaluación de recursos didácticos, lo cual nos permite comparar resultados obtenidos con el material renovado, con el utilizado anteriormente. Se trata del cuestionario estandarizado Test of Understanding Graphs in Kinematics (TUGK), desarrollado por Beichner (Beichner, 1994) en la Universidad de Carolina del Norte. Aunque este test, no es el más comúnmente utilizado en la investigación en enseñanza de la física, evalúa la instrucción recibida en las aulas y/o laboratorios de física, a diferencia de otros, que están orientados a temas más generales. Consiste en 21 reactivos de opción múltiple, en los cuales se evalúa la comprensión conceptual tanto en lo que respecta al texto como a las definiciones técnicas de los parámetros utilizados en la descripción del movimiento, así como sus interrelaciones. La página <https://sites.google.com/site/fsicaeducativa/> incluye una versión en español del TUG-K, en el apartado "Recursos para diagnóstico y evaluación". Además de una comparación directa entre los promedios (del postest y del pretest), se utilizó el instrumento de medición más comúnmente utilizado en física educativa: la ganancia promedio normalizada de Hake (g), desarrollado por Richard R. Hake (Hake, 1998) en la Universidad de Indiana. Hake define la "ganancia promedio", como el cociente del promedio de la ganancia obtenida, entre la ganancia promedio máxima posible:

$$g = \frac{\text{Promedio del postest} - \text{Promedio del pretest}}{N \text{ de reactivos} - \text{Promedio del pretest}}$$

En la relación anterior, los promedios se obtienen en base a las respuestas correctas de los cuestionarios aplicados al grupo. La ganancia permite comparar el grado de logro de la estrategia o recurso educativo en distintas poblaciones, independientemente del estado inicial de conocimiento. Hake propone, además –con base en los resultados obtenidos en los colegios y universidades americanas- categorizar los resultados de la instrucción en las siguientes tres zonas de ganancia normalizada:

Baja ($g < 0.3$), Media ($0.3 \leq g < 0.7$), Alta ($g \geq 0.7$)

3.1 Experimentación

El test fue aplicado a través de la plataforma Schoology al inicio del semestre como pretest (agosto de 2017) a 7 grupos del curso Laboratorio de Mecánica, de los cuales 4 eran de la carrera de Ingeniería Industrial y 3 de la carrera de Ingeniería Química, ofertadas en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI) de la Universidad de Guadalajara. Después del curso semestral de Laboratorio de Mecánica, –durante el cual se utilizó el recurso propuesto- se aplicó nuevamente el TUG-K como postest (diciembre de 2017), a los mismos grupos.

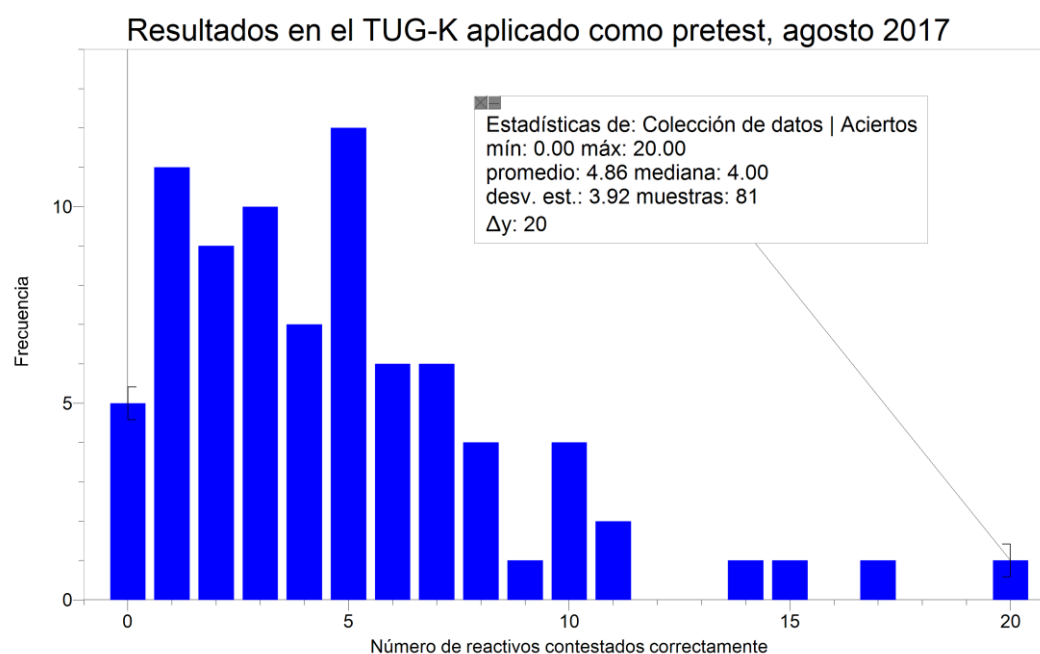


Figura 3: Distribución de los resultados obtenidos por los estudiantes de 4 grupos de Ingeniería Industrial y 3 grupos de Ingeniería Química, al aplicarles como pretest el TUG-K.

4. Resultados.

Los resultados obtenidos aplicando el TUG-K como pretest se muestran en la Figura 3. Puesto que el pretest se realizó a través de una plataforma, solamente se tomaron en cuenta los resultados de los estudiantes que pudieron completarlo durante el tiempo asignado (algunos fueron desconectados y no pudieron completar el cuestionario). Puede observarse que la distribución de los resultados del pretest muestra claramente un sesgo hacia un bajo número de respuestas correctas, siendo su promedio de 4.86. Puesto que el total de reactivos fue de 21 y cada uno tenía 5 opciones, este promedio apenas supera el correspondiente a contestar al azar el cuestionario (4.76). En la Figura 4 se muestran los resultados del postest, en los cuales se observa que el promedio (13.94) se ha desplazado hacia valores mayores, aunque muestran una mayor dispersión. Utilizando el valor de los promedios obtenidos, se calculó el índice de Hake,

el cual se muestra en la Tabla 1, en la cual también se muestran los índices obtenidos en evaluaciones anteriores en las cuales se utilizaban únicamente simulaciones o análisis de video para apoyar las prácticas de mecánica en el laboratorio (Navarrete, Almaguer y Flores, 2015), así como las obtenidas en el semestre previo, cuando se utilizó la herramienta de realidad aumentada del programa Logger Pro. En este caso, el valor obtenido para el índice de Hake ($g = 0.56$), se encuentra en la zona de ganancia media, superando el valor alcanzado en las evaluaciones cuando únicamente se utilizaban ecuaciones o análisis de video en el curso, así como en el curso anterior, en el cual se utilizó por vez primera la posibilidad de enriquecer el análisis de video mediante realidad aumentada.

Resultados obtenidos al aplicar el TUG_K, como postest, noviembre de 2017

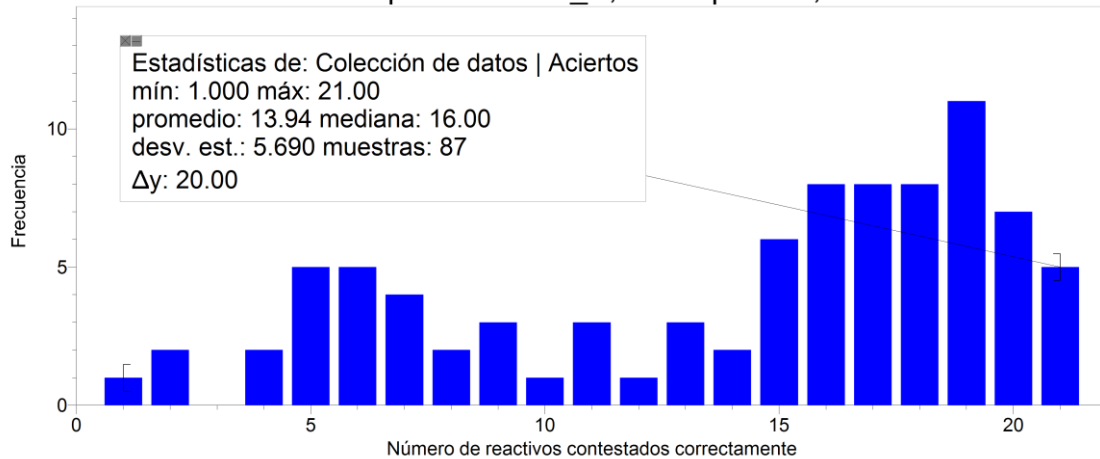


Figura 4: Distribución de los resultados obtenidos por los estudiantes de 4 grupos de Ingeniería Industrial y 3 grupos de Ingeniería Química, al aplicarles como postest el TUG-K.

5. Conclusiones

Los resultados mostraron que los alumnos que utilizaron el manual de actividades modificado en base al análisis de video y en las cuales se incorporó la realidad aumentada, obtuvieron mejores resultados en el cuestionario TUG-K, que aquellos que solamente utilizaron el análisis de video y la realidad aumentada de manera emergente, durante el curso de Laboratorio de Mecánica. Consideramos que el resultado es muy bueno, ya que el valor del índice de Hake permite ubicarlo en la zona de ganancia media, lo cual no se había conseguido antes de utilizar esta técnica. Incluso se consiguió obtener un índice de Hake mayor al doble de lo que se obtenía utilizando solamente simulaciones, como se muestra en la Tabla 1. Además, los alumnos mostraron mayor interés en las actividades realizadas, ya que la incorporación de los vectores en los videos los convenció de su utilidad en la descripción del movimiento de los objetos y de la necesidad de aprender acerca de ellos para poder utilizar el programa Logger Pro, tanto en el análisis de algunos problemas que tenían como tarea del curso de teoría, así como para poder interpretar los datos y resultados que este proporciona. Varios alumnos mostraron interés en utilizar recursos de RA en cursos posteriores, así como en la presentación de trabajos en otros cursos.

Grupos de estudiantes	Promedio en TUG-K (Pretest) ⁹	Tratamiento	Promedio en TUG-K (Postest)	Índice de Hake g
-----------------------	--	-------------	-----------------------------	------------------

4 Ing. Industrial y 3 de Ing. Química	4.86 Agosto 2017	Actividades realizadas guiadas por el manual de actividades modificado en base a análisis de video y realidad aumentada.	13.94 Diciembre 2017	0.56
3 Ing. Industrial y 3 de Ing. Química	4.42 Febrero 2017	Actividades basadas en análisis de video y apoyadas de manera emergente con realidad aumentada.	10.07 Mayo de 2017	0.34
3 Ing. Industrial y 3 de Ing. Química	4.43 Febrero 2015	Actividades basadas solamente en análisis de video.	8.93 Mayo de 2015	0.27
4 Ing. Industrial. 1 Licenciatura en Física	5 Febrero 2012	Actividades basadas en simulaciones.	8.9 Mayo de 2012	0.24

Tabla 1. Evolución de los mejores resultados obtenidos al utilizar distintos recursos para la preparación de los estudiantes antes de realizar prácticas en el curso “Laboratorio de mecánica”. Para la evaluación se utilizaron el “Cuestionario sobre la comprensión de gráficas de movimiento” (TUG-K) y el “Índice de Hake”.

6. Discusión.

Podemos distinguir claramente tres características de lo que puede considerarse aspectos de realidad aumentada que contribuyen a mejorar la efectividad de las actividades diseñadas para los alumnos:

- Permiten relacionar los elementos teóricos de modelación para la descripción del movimiento (ecuaciones) con su representación gráfica.
- Permiten relacionar la representación gráfica de los parámetros vectoriales utilizados en la descripción del movimiento, con su representación en video.
- Los alumnos disponen de mayor número de herramientas gráficas para el despliegue de la información obtenida, lo cual facilita su elaboración de reportes y “presentaciones”.

Desde el inicio del curso se observó una gran motivación y participación por parte de los alumnos, ya que desde el principio muchos de ellos llevaron sus propias computadoras y otros realizaban las actividades de análisis de los videos en las computadoras del laboratorio y las continuaban en casa. Lo observado coincide con algunas investigaciones realizadas en ambientes educativos no formales, y en formales iniciales donde se experimenta el aprendizaje de los niños (Smuseva, and Rolich, 2018). Aunque se supone que la motivación es un factor de menor importancia en la educación superior –por tratarse de una etapa en la que el estudiante ha decidido su área de formación profesional-, utilizar estas metodologías contribuye a que los estudiantes se relajen e incluso disfruten durante el curso de laboratorio de física, asignatura que generalmente creen poco aportará a su formación como ingenieros. Y tal vez la mayoría tengan razón, pero cuando preguntan si tendrán la posibilidad de tomar un curso posterior con el mismo profesor, posiblemente ello signifique que les ha interesado esta forma de aprender, y ello puede ser importante, ya que una de las posibilidades de trabajo en su futuro es la docencia, y creemos que hemos sembrado la inquietud de interesarse por nuevos métodos de adquirir conocimientos.

Referencias

Barroso, J., Cabero, J., y Moreno, M. (2016). La utilización de objetos de aprendizaje en realidad aumentada en la enseñanza de la medicina. *Innoeduca. International journal of technology and educational innovation*, 2(2).

Beichner, R. (1994). *Testing student interpretation of kinematics graphs*, American Journal of Physics, 62, 750-762).

Chi-Poot, A. and Martin-Gonzalez, A. (2014). Euclidean Vectors in Physics Education Using Augmented Reality. [Abstract]. *Lecture Notes in Computer Science Augmented and Virtual Reality*.

Enyedy, Noel & Danish, Joshua & Delacruz, Girlie & Kumar, Melissa. (2013). Learning physics through play in an augmented reality environment. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*. 7. 10.1007/s11412-012-9150-3.

Estebanell, M., Ferrés, J., Cornellá, P., y Codiga, D., *Realidad Aumentada y códigos QR en Educación*. En J. Hernández, M. Pennesi, D. Sobrino y A. Vázquez, (Coord.), Tendencias emergentes en educación con TIC. (Espiral Barcelona, 2012).

Hake, R., *Interactive engagement versus traditional methods: A sixthousand student survey of mechanics test data for introductory physics*, American Journal of Physics, 66, 64-74 (1998).

Moreno, R. (2015). Aplicación de la visión por computador a la docencia de física. Tesis Doctoral. *Universidad Politécnica de Valencia*. Recuperado 12 de mayo de 2017, a partir de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59470/Moreno%20-%20Aplicación%20de%20la%20Visión%20por%20Computador%20a%20la%20docencia%20de%20Fisica.pdf?sequence=1>

Navarrete L., Puerto A., González Q., Camelo V., y Flores, M. (2014). *Introducción al análisis de video. Con aplicaciones al estudio del movimiento*. Guadalajara: Amate Editorial.

Navarrete, L., Almaguer, J., Navarrete, F., y Flores, M. (2017). El análisis de video como alternativa para la integración de teoría y práctica en los cursos introductorios de física. *Latin American Journal of Physics Education*, 9(3).

Prendes, C. (2015). Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 187-203.

Puhek, M., y Debevc (2011). Development of augmented reality laboratory experiments in biology classes. *Education and technology: Innovation and Research*. Proceedings of ICICTE 2011.

Reynoso, R., *Posibilidades de la realidad aumentada en educación*. En J. Hernández, M. Pennesi, D. Sobrino y A. Vázquez, (Coord.), Tendencias emergentes en educación con TIC. (Espiral Barcelona, 2012).

Smuseva, D. and Rolich, A. (2018). Research and software development using AR Technology. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1050 (2018) 012080

Techakosit, Somsak & Nilsook, Prachyanun. (2015). Using Augmented Reality for Teaching Physics. The sixth International e-Learning Conference, 2015. Recuperado 12 de julio de 2018, a partir de: https://www.researchgate.net/publication/280576271_Using_Augmented_Reality_for_Teaching_Physics

Wu H., Wen-Yu S. Chang, H., Liang J., *Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education*, Computers and Education, 62, 41-49 (2012).