

Sensor ultrasónico de distancia para armar y aprender Física

Ultrasonic distance sensor to assemble and learn Physics

Juan Cruz Bigliani¹, Edgardo A. Gutiérrez¹ y Javier Martín¹

¹Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1611, X5016GCA Córdoba, Argentina.

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

E-mail: jbigliani@unc.edu.ar

Resumen

En el presente trabajo se describe la forma en que se diseñó e implementó un dispositivo ultrasónico para medir distancias, empleando elementos que hoy en día están al alcance de todos, tienen un bajo costo y son de fácil utilización. Los elementos usados fueron una placa *Arduino Uno* y un sensor ultrasónico HC-SR04. Este dispositivo se vincula a una computadora por medio del puerto USB, a través del cual envía los datos de distancia leídos, los cuales pueden fácilmente ser copiados en una planilla de cálculo para su posterior uso. El usuario de este dispositivo tiene acceso al código del programa que posibilita el funcionamiento y a la ecuación utilizada para calcularla distancia, relacionada con la velocidad del sonido y el tiempo del eco. Esto permite que se puedan hacer modificaciones para la calibración o el análisis de las variaciones de la velocidad del sonido con la temperatura, entre otras posibilidades. Las mediciones realizadas mostraron una precisión muy aceptable, los errores no superaron el 3% de la medición para distancias entre 10 cm y 90 cm. Esta publicación incluye la totalidad de la información necesaria para construir el dispositivo y hacerlo funcionar.

Palabras clave: TIC; Sensor ultrasónico; Experiencia de laboratorio; Física.

Abstract

This paper describes the way in which a device for measuring distances was designed and implemented, using elements that are now available to everyone, have a very low cost and are easy to use. The elements used were an *Arduino Uno* board and an HC-SR04 ultrasonic sensor. This device is linked to a computer through the USB port, through which it sends the read distance data, which can easily be copied into a spreadsheet for later use. The user of this device has access to the program that allows the operation and the equations that allow to calculate the distance, related to the speed of the sound and the echo time. This allows modifications to be made for the calibration or analysis of the variations in the speed of sound with temperature among other possibilities. The measurements made showed a very acceptable accuracy, the errors did not exceed 3% of the measurement for distances between 10 cm and 90 cm. The publication includes all the information necessary to build this device and make it work.

Keywords: ITC; Ultrasonic sensor; Laboratory experience; Physics.

I. INTRODUCCIÓN

Una inquietud vigente, tanto en el ámbito educativo como en espacios guiados por intereses económicos y sociales, consiste en hacer más eficiente la tarea de educar y lograr que sea creciente el número de estudiantes que se interesen por temas referidos a las ciencias en general y la tecnología. Las sociedades actuales se enfrentan dilemas y desafíos tales como la necesidad de crecer y desarrollarse, explorar nuevas fuentes de energías y al mismo tiempo proteger el medio ambiente. El vertiginoso crecimiento de la economía global, ha puesto al descubierto el ascendente rol de la ciencia y la tecnología en la creación de nuevos puestos laborales y la mejora de productos y servicios. La mejor forma de enfrentar estos desafíos requiere la capacitación y la formación continua de ciudadanos, en base a una sólida formación socio cultural, y una percepción adecuada de la ciencia y los rápidos avances tecnológicos.

Las actuales instituciones educativas con sus ofertas pedagógicas no cumplen acabadamente este rol, y deben imperiosamente reflexionar y reconvertirse, para brindar respuestas satisfactorias a las demandas presentes.

Pese a los esfuerzos que se inician en la segunda mitad del siglo pasado, orientados a dar respuestas a las demandas sociales en general y a producir mejoras en la enseñanza de las ciencias en lo particular, los

resultados logrados hasta la fecha no son del todo satisfactorios. En una sociedad moderna y democrática es necesario que los conocimientos relacionados con la ciencia y la tecnología pasen a formar parte de la cultura del ciudadano, sin embargo, este objetivo se ha logrado de manera parcial (Bigliani y otros, 2017).

En la actualidad, y en todos los niveles del sistema educativo, resulta importante el porcentaje de jóvenes que fracasan en Ciencias Naturales y en Física. Esto abona la opinión generalizada de que los cursos de Física presentan serias y variadas dificultades a los estudiantes de los niveles secundario y universitario (Aranzábal y otros, 2003).

La Práctica Experimental es una de las acciones didácticas a las que un docente puede recurrir al momento de intentar lograr la construcción de un concepto como parte del proceso de enseñanza y aprendizaje, puesto que, iniciada a partir de una situación problemática, permite formular hipótesis, establecer modelos y validar resultados, a los cuales se llega a través de un razonamiento hipotético-deductivo (Gutiérrez, 2018).

En Argentina, como en la mayoría de los países latinoamericanos, existe la conjetura generalizada de que el uso de laboratorios en el ámbito educativo es muy costoso, y dadas las actuales condiciones de economía deficitaria, esta situación recrudece y se hace mucho más presente.

La consecuencia inmediata de esta concepción, es que la enseñanza de las ciencias experimentales termina basándose en la transferencia pasiva de conocimientos como pueden ser definiciones, leyes y descripciones, mecanismo que no modifica sustancialmente las formas de pensamiento de los alumnos. Esta restricción genera un vacío en el proceso de enseñanza y aprendizaje, limitándolo a la resolución de problemas de lápiz y papel sobre fenómenos que los estudiantes no experimentan. Es necesario que en el aula (o en el laboratorio) los estudiantes tengan la posibilidad de realizar experiencias, con la correspondiente manipulación de instrumentos y equipos.

Nuestro tiempo está marcado por los acelerados cambios que conlleva el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), ante los cuales el contexto educativo no puede permanecer indiferente. Por otra parte, la transformación digital es tan acelerada, que adaptar a tiempo los contenidos y sus formas a la realidad cambiante, resulta una tarea de difícil consecución.

El mantener un ritmo adecuado de cambio respecto a los avances tecnológicos actuales y establecer mecanismos en la incorporación de las TIC, debe constituir un eje transversal, motivo por el cual se deben asumir los retos de la actualidad y establecer acciones de mejoramiento continuo ante la inminente necesidad de hacer frente a todos los desafíos impuestos por la sociedad (Cruz y Coca, 2009)

En el ámbito del laboratorio de Física se pueden propiciar experiencias que incorporen el uso de elementos tecnológicos de fácil acceso y bajos costo, directamente relacionados a TIC, permitiendo generar propuestas didácticas que resulten atractivas y desafiantes para los estudiantes.

La incorporación de TIC en la práctica experimental propicia en los alumnos el desarrollo de competencias digitales, entendiendo como tales aquellas que facilitan el uso de los dispositivos digitales, las aplicaciones de la comunicación y las redes para acceder a la información, y facilitan llevar a cabo una mejor gestión de ellas (Gisbert Cervera y otros, 2010). Estas competencias permiten crear e intercambiar contenidos digitales, comunicar y colaborar, así como dar solución a los problemas con miras a alcanzar un desarrollo eficaz y creativo en la vida, el trabajo y las actividades sociales en general. También se puede afirmar que el uso de las TIC mejora la precisión que se logra en la toma de datos, la objetividad de su lectura, la velocidad y la facilidad con la que se pueden procesar, construir curvas experimentales y gráficos, es decir, nuevos aspectos referidos a la práctica experimental que se debieran traducir en mejores aprendizajes sujetos de investigación (Martín y González, 2013).

Hoy en día, el uso de TIC tiene muchas ventajas para la enseñanza de las ciencias: están cada vez más difundidas, acceder a ellas resulta cada vez más sencillo, y como herramientas de aprendizaje, brindan la posibilidad de recolectar datos de un experimento en tiempo real, analizar fenómenos que ocurren rápidamente, y registrar la variación de variables dependientes del tiempo.

Los laboratorios, en donde se experimenta y ponen a prueba ideas, son una excelente herramienta pedagógica y en muchos aspectos, un ámbito esencial para la enseñanza de las ciencias en todos los niveles educativos. El laboratorio, en general, brinda a los estudiantes la posibilidad de aprender a partir de sus propias experiencias y de la experiencia colaborativa con sus pares (Crouch y Mazur, 2001, Monteiro y otros, 2014). También puede y debe ser usado para estimular la curiosidad y el placer por la investigación y el descubrimiento. Brinda a los alumnos la posibilidad de explorar, manipular, sugerir hipótesis, cometer errores y reconocerlos, y, por lo tanto, aprender de ellos (Gil y otros, 2014).

En el marco de un proyecto de investigación sobre Tecnologías de la Información y la Comunicación, se empezó a investigar sobre el diseño de laboratorios que incorporen TIC, y a tal fin se comenzaron a fabricar dispositivos. En este proceso, uno de los instrumentos que se está ensayando es de tipo ultrasónico y capaz de medir distancias, que puedan luego ser utilizadas en experiencias prácticas de cinemática y dinámica, entre otras. El presente trabajo tiene como objetivo mostrar una propuesta que permite de manera muy simple y económica, fabricar un instrumento para medir distancias con una precisión muy acep-

table, para muchas de las experiencias que pueden ser realizadas en el laboratorio para la enseñanza de la Física. Si bien hay publicaciones sobre el uso de sensores ultrasónicos, en este trabajo se muestra la manera de fabricar un equipo que pueda ser reproducido en cualquier ámbito, sin necesidad de recurrir al uso de herramientas específicas, soldadores de electrónica, ni complicadas adaptaciones.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Descripción del dispositivo

El instrumento está formado por dos partes esenciales: la placa *Arduino Uno* y un sensor ultrasónico de distancia, elementos que son comercializados desde hace algunos años y son de fácil acceso (figura 1). Ambos fueron conectados directamente utilizando los cuatro pines de conexión del sensor y la bornera de la placa *Arduino Uno* como muestra la figura 2. La placa *Arduino Uno* cuenta con un micro controlador que debe ser programado en función del uso que se le quiere dar, en este caso, deberá ser programada para que envíe y reciba los datos necesarios al sensor ultrasónico para que este realice las mediciones de distancia requeridas.

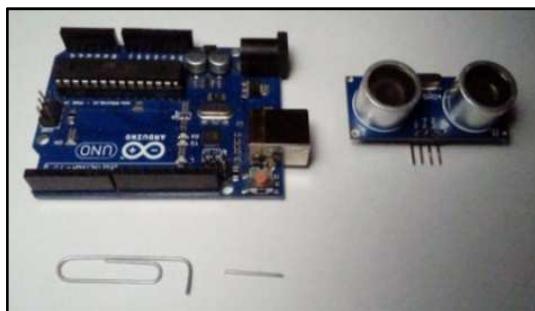


FIGURA 1. Placa *Arduino Uno* y sensor ultrasónico.

El sensor ultrasónico tiene cuatro pines de conexión, dos se utilizan para la alimentación y los otros dos para la comunicación con la placa *Arduino*. Las dos conexiones para alimentación están marcadas como GND y VCC en el sensor, estas son las llamadas comúnmente negativo y positivo. Al conectar el sensor a la placa debe hacerse como lo muestra la figura 2, para que el pin GND del sensor quede conectado al GND de la placa y de esta forma la alimentación sea correcta. Conectado de esta manera el pin “Echo” del sensor queda conectado al pin 13 de la placa, el pin “Trig” al 12 y el pin Vcc al 11 (el programa energiza este pin con 5 voltios). Si este equipo es reproducido debe conectarse de esta forma ya que el programa fue escrito para que la placa mande la información a través de estos pines al sensor.

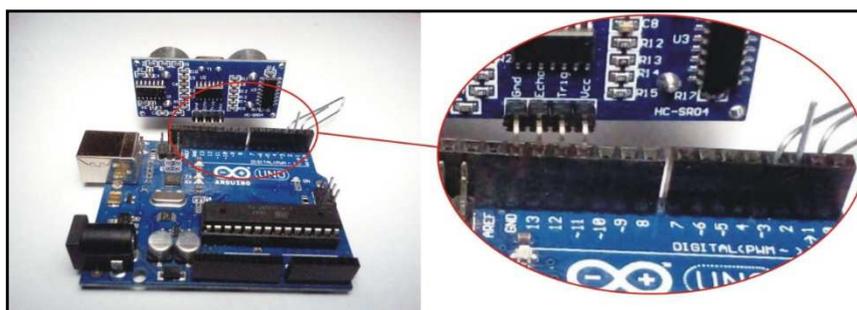


FIGURA 2. Se muestra la placa *Arduino Uno*, el sensor ultrasónico HC-SR04 y la forma en que ellos se conectan.

Al igual que todos los sensores ultrasónicos de distancia, este sensor cuenta con dos cápsulas, una para emitir un sonido ultrasónico (parlante) y la otra para escucharlo (micrófono). Para medir la distancia de algún objeto que se encuentre frente al sensor, se deberá emitir una ráfaga de sonido y contar el tiempo que transcurre hasta que el sonido vuelve y es receptado. De esta manera, con este tiempo y conociendo la velocidad del sonido se puede calcular la distancia. La placa *Arduino* fue programada para medir este tiempo, calcular la distancia, y luego mandar este dato por el puerto USB (a través del cable de conexión) a la computadora. Para disminuir el error de las lecturas se toman todas las mediciones posibles durante

0,1s, se calcula su promedio y se envía este valor, de manera que la PC recibe un dato cada 0,1s que fue calculado promediando una serie de entre 10 y 80 valores (dependiendo de la distancia medida).

Cada vez que se realiza un promedio, también se almacena el tiempo correspondiente a esa lectura y este dato también es enviado a la PC junto con el valor de distancia. De esta forma, la PC recibirá 10 datos por segundo de la distancia medida (en centímetros) y del tiempo en que fue medida (en milisegundos). A su vez, entre estos datos fueron agregados los caracteres necesarios (tabulador y *enter*) para que al recibirlos en la PC puedan ser fácilmente copiados a una planilla de cálculo, quedando estas mediciones organizadas en dos columnas, una para los tiempos y otra para las distancias(figura3).

Para comenzar a registrar los datos se debe contar con un pulsador, y el programa fue escrito para que éste deba conectarse en las borneras 2 y 3 de la placa *Arduino*. Es decir, para que se comiencen a registrar los datos se deben unir estas dos borneras ya sea a través de un pulsador conectado a ellas, o simplemente utilizando los alambres de un clip como puede verse en la figura 2. De esta forma, al unir los dos alambres de los clips se comenzarán a registrar los datos durante todo el tiempo que estén unidos, y simultáneamente serán enviados a la PC.



FIGURA 3. Se muestran los datos recibidos por el programa (a la izquierda) y los datos ya copiados a una planilla de cálculo (a la derecha).

B. Programa cargado en la placa *Arduino*

El programa fue escrito para realizar 4 tareas principales: lectura del sensor ultrasónico, cálculo de la distancia, promedio de los datos y envío de los datos a la computadora.

Para reproducir este instrumento solo es necesario cargar este programa en la placa *Arduino* y no es necesario entender de forma completa su funcionamiento, pero se va a indicar el lugar en el programa donde se calcula la distancia para que esta parte del código pueda ser cambiada si se quieren hacer algunas modificaciones o calibrar el equipo en función de la temperatura, por ejemplo.

Para calcular la distancia X (distancia entre el sensor y el objeto donde rebota el sonido) solo debemos multiplicar la velocidad del sonido (V_s) por el tiempo que este tardó en llegar desde el sensor al objeto. Debido a que el tiempo medido por el sensor es el tiempo en que el sonido tardó en llegar al objeto y volver (t), este tiempo debe dividirse por dos como se ve en la ecuación 1.

$$X = V_s \cdot \frac{t}{2} \tag{1}$$

Esta es la ecuación que se utiliza en el programa para el cálculo de la distancia, pero debe afectarse de los términos necesarios para adaptar las unidades. La distancia se calcula en centímetros y el tiempo t que detecta el programa está en microsegundos, por lo cual, si vamos a colocar la V_s en metros/segundos la ecuación deberá dividirse por 10^4 y si usamos para V_s el valor de 343m/s la ecuación queda:

$$X = V_s \cdot \frac{t}{2 \cdot 10^4} = 343 \cdot \frac{t}{20000} \tag{2}$$

En el programa se llamó “tiempo de vuelo” al tiempo t que tarda el sonido en ir y volver y “distancia” al resultado del cálculo, por lo cual la ecuación inserta en el programa es la que puede verse coloreada de rojo en la línea 21 del código. Si se quiere cambiar la velocidad del sonido a la hora de usar el sensor se deberá cambiar en esta línea del código y luego volver a cargarlo a la placa *Arduino* como se explica en la siguiente tabla.

TABLA I. Líneas de código utilizadas.

int a;
int b;
unsigned long tiempo1;
float distancia1;
unsigned long tiempo_actual;
unsigned long tiempo_cero;
int n;
//////////--FUNCIÓN PARA LEER LA DISTANCIA--//////////
float leer_distancia(int trigPin, int echoPin)
{
float distancia;
float tiempodevuelo;
pinMode(trigPin, OUTPUT);
pinMode(echoPin, INPUT);
digitalWrite(trigPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(20);
digitalWrite(trigPin, LOW);
tiempodevuelo = pulseIn(echoPin, HIGH);
distancia = tiempodevuelo * 343 / 20000;
return distancia;
}//////////--FIN FUNCIÓN--//////////
void setup()
{
pinMode(3, INPUT_PULLUP);
pinMode(2, OUTPUT);
pinMode(11, OUTPUT);
Serial.begin(9600);
}
void loop()
{ a = 0;
b = 0;
distancia1 = 0;
digitalWrite(11 , HIGH);
digitalWrite(12 , LOW);
digitalWrite(2 , LOW);
if ((digitalRead(3)) == LOW)
{ a = 1 ;
Serial.print("Tiempo (s)");
Serial.write(9);
Serial.print("Distancia (cm)");
Serial.println("");
delay (100);
}
while (a==1)
{
if ((digitalRead(3)) == HIGH)
{ delay (20);
if ((digitalRead(3)) == HIGH) a = 0 ;
}
distancia1 = distancia1 + leer_distancia(12 , 13) ;
n=n+1;
if(b==0)
{tiempo_cero = millis() ;
tiempo1=100;

TABLA I. Líneas de código utilizadas (continuación).

b=1;
}
tiempo_actual = millis()- tiempo_cero;
if(tiempo_actual > tiempo1)
{ distancia1=distancia1 / n;
tiempo1= tiempo1+100;
Serial.print(tiempo_actual);
Serial.write(9);
Serial.print(distancia1);
Serial.println("");
n=0;
distancia1=0;
}
}
}
/////////---- FIN PROGRAMA----/////////

C. Software para la programación de la placa *Arduino*

El software para la programación y la utilización del instrumento se puede descargar de forma gratuita de la página www.arduino.cc/en/Main/Software. Este software se instala en la computadora y sirve tanto para la programación de la placa *Arduino*, como para recibir los datos de distancia que esta manda a través del puerto USB.

III. MODO DE USO

A. Programación

Una vez conectado el sensor a la placa *Arduino*, e instalado el programa en la computadora, se debe conectar la placa a esta, utilizando el puerto USB y esperar unos segundos para que el sistema operativo la detecte automáticamente. Luego de esto se debe abrir el programa y copiar el código para la programación de la placa que se encuentra en esta publicación. A continuación, se debe ir a “Herramientas”, “Puerto Serial” y seleccionar el puerto donde está conectada la placa (generalmente es el número mayor) como se muestra en la figura 4 y finalmente se debe clicar sobre el icono de la flecha horizontal (en la parte superior izquierda) para cargar este programa en la placa. Esto se debe hacer solo la primera vez, para los siguientes usos, la placa ya quedará programada y solo deberá reprogramarse si se quiere cambiar algo del programa, como por ejemplo la velocidad del sonido.

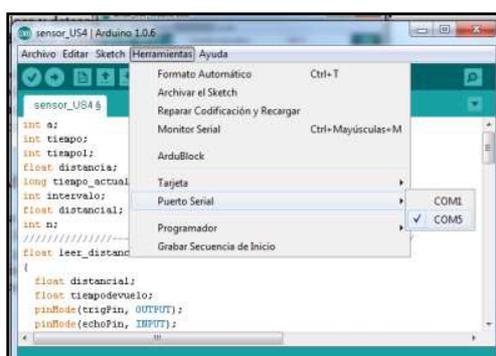


FIGURA 4. Programa *Arduino* instalado en la computadora con el código cargado y el puerto de USB configurado.

B. Toma de datos y Procesamiento

Una vez programada la placa *Arduino*, debemos dejar el programa abierto en la PC y la placa conectada a esta. Antes de comenzar una toma de datos se debe abrir la ventana en el programa para visualizar los datos recibidos, esto se hace clicando en el icono con forma de lupa que se encuentra en la parte supe-

rior derecha del programa denominada monitor serial, ver figura4. Una vez abierta esta ventana se puede iniciar un registro de datos con solo accionar el pulsador o uniendo los clips conectados a las borneras 2 y 3 de la placa *Arduino*.

Para utilizar los datos registrados, estos pueden ser copiados a una planilla de cálculo. Para hacer esto se deben seleccionar los datos que nos interesan en la ventana del monitor serial y copiarlos haciendo clic derecho sobre ellos y eligiendo “copiar”. Luego, pueden ser pegados en cualquier planilla de cálculo en donde quedarán acomodados en dos columnas y será muy fácil usarlos para hacer cuentas o gráficos.

IV. VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

Se hicieron una serie de mediciones para estimar la precisión del dispositivo. Para ello se colocó un objeto frente al sensor ultrasónico para que este detectara su distancia. Se hicieron mediciones colocando el objeto a nueve distancias diferentes, entre 10 cm y 90 cm, midiéndose éstas con una cinta métrica con apreciación de 1 mm. Los primeros registros de datos se hicieron cargando un programa con un valor para la velocidad del sonido de 343 m/s y debido a que la temperatura al realizar el registro era de 27 °C, los datos experimentaron un corrimiento sistemático de hasta un 14%, como puede verse a la izquierda de la Tabla II.

TABLA II. Mediciones realizadas para diferentes valores de velocidad del sonido cargados en el programa.

Distancia real del objeto(cm)	Mediciones con $V_s = 340$ m/s			Mediciones con $V_s = 348$ m/s		
	Medición (cm)	Desv. Est (cm)	Error (%)	Medición (cm)	Desv. Est (cm)	Error (%)
10	8.6	0.7	14.3	9.7	0.2	2.6
20	18.9	0.2	5.7	19.8	0.2	1.2
30	28.9	0.1	3.8	29.4	0.2	1.8
40	38.7	0.1	3.3	39.9	0.2	0.2
50	48.8	0.0	2.3	50.8	0.4	-1.6
60	57.9	0.2	3.6	60.9	0.2	-1.5
70	68.0	0.2	2.9	69.1	0.3	1.3
80	78.5	0.4	1.9	79.6	0.4	0.5
90	88.6	0.5	1.6	89.6	0.5	0.4

Luego, sabiendo que la velocidad del sonido depende de la temperatura y se puede aproximarse con la ecuación 3, esta fue recalculada para 27°C dando un valor de 348m/s.

$$V_s = 331.4 + 0,61 \cdot t \quad (3)$$

Se cargó un programa con esta velocidad y se tomaron nuevas mediciones que pueden verse en la parte derecha de la Tabla II. En este nuevo conjunto de valores se puede apreciar que, si bien la desviación estándar permanece similar, los valores son mucho más cercanos a la distancia del objeto, reduciéndose significativamente el error con respecto a los datos tomados con la velocidad de 343 m/s.

V. CONCLUSIONES

La velocidad del sonido depende de las propiedades del medio por el que éste se propaga, y en el caso del aire, son múltiples las variables que pueden afectarla. Condiciones tales como la temperatura, presión o humedad pueden modificar considerablemente la velocidad del sonido y esto puede afectar la calidad de la medición. Una forma de compensar automáticamente la variación con la temperatura, es colocar un sensor para medir ésta magnitud e incluir la correspondiente ecuación en el código del programa, pero el objetivo de este dispositivo no es ese, si no que el usuario pueda compensarlo y en el proceso comprender su funcionamiento y los fenómenos físicos que están relacionados. El solo hecho de utilizar este dispositivo puede significar toda una enseñanza en torno a la propagación del sonido, ya que puede analizarse desde la cinemática involucrada para el cálculo de la distancia, hasta la utilización de la ecuación de los

gases ideales para analizar la dependencia con la temperatura, presión o humedad. Sería muy interesante también utilizarlo para un abordaje multidisciplinario en la escuela media, en donde junto con el módulo de informática o tecnología pueda servir como introducción para la comprensión del código del programa o para la mejora del mismo.

Más allá de la enseñanza que puede involucrar su utilización, las mediciones realizadas muestran que, cargando el programa con la velocidad del sonido adecuada, el dispositivo puede tomar lecturas de distancia con una precisión muy aceptable donde los errores son menores al 3%, midiendo distancias entre 10 cm y 90 cm. Estas prestaciones permiten realizar distintas experiencias de física que habitualmente son realizadas en el laboratorio de enseñanza tales como la cinemática o dinámica de la caída de cuerpos por un plano inclinado, choques, movimientos armónicos, etc.

Además de las posibilidades de enseñanza mencionadas, otro aspecto no menos importante de fabricar y usar este tipo de dispositivos, es el bajo costo de los materiales involucrados. Mientras que un equipo comercial con prestaciones similares, hoy en día puede conseguirse en el mercado a un precio similar al sueldo medio de un docente, la placa *Arduino Uno* y el sensor tienen un costo mucho menor que el correspondiente a una caja de 10 marcadores para pizarra blanca.

REFERENCIAS

Aranzábal, J. G., García, J. M. A., y Zubimendi, J. L. (2003). Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 21(1), 79-94.

Bigliani, J. C., Capuano, V. C., Gutiérrez, E. A., y Martín, J. (2017). Práctica experimental con equipos cotidianos para los alumnos, y de mejores resultados experimentales. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29, 391-400.

Gil, S., Calderón, S., Núñez, P., Di Laccio, J., y Iannelli, L. (2014). Aulas-laboratorios de bajo costo, usando TIC. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación De Las Ciencias*, 12(1), 212-226. Recuperado de <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2912> Consultado en julio de 2019.

Crouch C. H. y Mazur E. (2001). Peer Instruction: Ten Years of Experience and Results. *American Journal of Physics*, 69, 970-977.

González Cruz, M. (2011, marzo 22). *Impacto de las TIC en los sistemas educativos*. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/impacto-de-las-tic-en-los-sistemas-educativos/> Consultado en julio de 2019.

Gisbert Cervera, M., Cela, J. M., y Isus, S. (2010). Las simulaciones en entornos TIC como herramienta para la formación en competencias transversales de los estudiantes universitarios. *Teoría de la educación: educación y cultura en la sociedad de la información*, 11(1), 352-370.

Gutiérrez, E. A. (2018). Experimentos cruciales de laboratorio y enriquecimiento conceptual en el aprendizaje de la física. Tesis de Maestría. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Córdoba.

Martín, J. y González M., (2013). Impacto de la temática relacionadas con aulas virtuales en publicaciones científicas vinculadas a la educación en ciencias y tecnología, *I Jornadas Nacionales y III Jornadas de Experiencias e Investigación en Educación a Distancia y Tecnología Educativa*. Córdoba, Argentina.

Monteiro M., Cabeza C., Marti A., Vogt P. y Kuhn J. (2014). Angular velocity and centripetal acceleration relationship. *The Physics Teacher*, 52, 312-313.