

Reflexiones sobre las nuevas tecnologías, la medida de los tiempos y las incertezas asociadas

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Juan Bigliani ¹, Vicente Capuano ¹, Javier Martín ¹, Eduardo Bordone ¹, Anahi Ruderman ¹

¹Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Vélez Sársfield 1651. Ciudad Universitaria, X5016GCA, Córdoba, Argentina.

E-mail: jbigliani@com.uncor.edu

Resumen

Los conceptos de "incertidumbre", "precisión" y de "exactitud", en ingeniería, ciencia, industria y estadística, son relevantes y se transforman en sujeto de investigación cuando se introducen las TICs en los montajes experimentales. En la descripción de los distintos modos de medir las variables espacio-tiempo, creemos que se percibe que, a mayor presencia de TICs, más difícil resulta el proceso de determinar las incertidumbres asociadas a la medición. En este trabajo revisaremos los distintos modos de medir la posición y el tiempo en los laboratorios de enseñanza, para finalmente, proponer un modo de incorporar las TICs con el complemento de instrumental diseñado en los laboratorios, que permita operar con material cotidiano y de bajo costo (celulares) y que recupere aspectos del modo tradicional de medir para que se puedan tener certezas de las incertidumbres.

Palabras clave: Mediciones, Incertidumbre, TICs, Práctica experimental, Segundo analógico.

Abstract

The concepts "uncertainty", "precision" and "accuracy" in engineering, science, industry and statistics, are relevant and become a research subject when ICTs are introduced into the experimental setups. In the descriptions of the various ways to measure the space-time variables, it is perceived that the more presence of ICT there is, the more difficult the process of determining the uncertainties associated with the measurement will be. This paper will review the different ways to measure the position and time in teaching laboratories, so as to propose a way to incorporate ICTs complemented with instrumental designed in laboratories, which allows operating with every day and low cost material (cellphones) and retrieves aspects of the traditional way of measuring so that we can have certainty of uncertainties.

Keywords: Measurement, Uncertainty, ICT, Experimental practice, Analog seconds.

I. INTRODUCCIÓN

La práctica experimental pone en juego un conjunto de conceptos, que no sólo son los disciplinares asociados al tema de la misma. Al momento de pensar en realizar una práctica, debemos definir claramente el problema, generar algún tipo de predicción a comprobar en la misma, formular hipótesis, decidir sobre el equipamiento y el método de operar con el mismo, tener una idea del tratamiento que le vamos a dar a los datos recogidos, decidir sobre cómo vamos a operar con las incertidumbres asociadas a las mediciones, en fin, un conjunto de aspectos que hacen a la metodología que utilizaremos, además de las conceptualizaciones teóricas específicas disciplinares, que requiere la tarea (Bravo y Pesa, 2007).

Sobre prácticas experimentales es mucho lo que se ha transitado, desde las Prácticas Experimentales Tradicionales (PET) que se realizaban hace tres o cuatro décadas, hasta las actuales Prácticas Experimentales Asistidas (PEA) por modernas Tecnologías Informáticas y de la Comunicación (TICs). Las distintas modalidades de práctica experimental, impulsadas por desarrollos en el ámbito de la mecánica de precisión, de la electrónica, de la computación, de la informática y de las comunicaciones, plantean nuevos estudios acerca del modo como esta actividad favorece la construcción de conceptos (Yanitelli y otros, 2004; Yanitelli y otros, 2007; Capuano y González, 2008; Sáez y otros, 2005; Testa y otros, 2002).

Cuando una práctica experimental es asistida con herramientas TICs, se utilizan sensores que actúan como sistemas de adquisición de datos que se incorporan a una computadora, la que provista de un adecuado software puede procesar estos datos, mostrar tablas, representaciones gráficas, y calcular los principales parámetros que caracterizan el fenómeno, se trata de una práctica que podríamos llamar Totalmente Asistida. Los estudiantes pueden obtener excelentes resultados en términos numéricos, pero dado el desconocimiento en general del equipo, la práctica experimental: a) no genera en ellos la necesidad de cuestionarse la actividad realizada; b) no permite que se introduzcan mejoras en el funcionamiento del equipo, dado que la complejidad del mismo, hace difícil la introducción de innovaciones tecnológicas; c) oscurece de algún modo la presencia de las variables involucradas en la práctica y; d) dificulta enormemente el trabajo con incertezas dado que el equipo lee los datos de manera automática. Lo antedicho nos lleva al planteo de algunas dudas en relación a que este tipo de práctica aporte en el proceso de construcción del conocimiento (Capuano y González, ob, cit; Sanmartí e Izquierdo, 2001; Yanitelli y otros, 2007).

Hoy es generalmente aceptado que las TICs pueden provocar en la educación en general, una verdadera revolución educativa (Kofman 2005). Sin embargo en el ámbito de la enseñanza de la física no se ha logrado superar aún una primera fase, que podríamos llamar exploratoria, donde se proponen experiencias de laboratorio que se pueden desarrollar con las TICs, pero no se investiga, salvo honrosas excepciones (Pontes, 2001) sobre su valor como estrategia educativa. Hay advertencias que se asientan en la intuición (Sanmartí e Izquierdo, ob, cit.), sobre las ventajas y desventajas de utilizarlas. Nadie puede negar que con el uso de las TICs mejora la precisión que se logra en la toma de datos, la objetividad de su lectura (prácticamente se hace sin la intervención del operador), la velocidad con la cual pueden procesarse los datos, la contundencia de curvas experimentales muy próximas a curvas teóricas, etc., es decir, nuevos aspectos de la práctica experimental que se debieran traducir en aprendizajes sujetos de investigación.

Cuando seleccionamos el instrumental con el cual recogeremos los datos en una práctica experimental, entre otros aspectos, seguramente estamos considerando las incertidumbres asociadas a las mediciones directas y, sobre cómo dichas incertidumbres tendrán peso en las mediciones indirectas. Incluso, la incertidumbre en el resultado final de la práctica experimental, dará validez al modelo propuesto para realizar la práctica, o en caso contrario, fundamentos para introducir cambios en la selección de instrumental o de arquitectura del equipo a utilizar (Cernuschy y Greco, 1968; Colombo, 1991). Dado que estamos pensando en que se trata de una práctica experimental que se realiza como parte del proceso de enseñanza y de aprendizaje, podemos permitirnos mayores incertidumbres relativas, pero no debemos renunciar a llevar a cabo un análisis crítico de éstas y de cómo deberíamos modificar el experimento para mejorar la calidad del resultado de la medición.

En el párrafo anterior señalamos el valor de considerar incertidumbres en las mediciones para validar modelos de prácticas experimentales de enseñanza. Sin embargo, la importancia de considerar incertidumbre en una medición, trasciende el ámbito de la enseñanza y está fuertemente emparentado con la Epistemología de la Ciencia. El método baconiano, empirismo inductivo, considera la observación y la experimentación como fuentes únicas del conocimiento. Procede de lo particular a lo general, de lo conocido a lo desconocido, de lo individual a lo universal. El método consiste en elaborar "historias naturales" -conjunto de observaciones y datos- con el fin de llegar, a través de hipótesis y comprobaciones experimentales, a alguna conclusión o ley sobre el fenómeno en estudio. Ahora bien, los datos tienen asociadas incertidumbres y en consecuencia la generalización depende de las mismas. ¿Quién nos asegura que cuando la tecnología desarrolle instrumental para lograr mediciones con incertidumbres relativas menores, sigan cumpliéndose las leyes que matemáticamente hemos expresado? Resumiendo, es difícil entender, cómo se podría justificar leyes exactas sobre la base de evidencias inexactas (Boido, 1985; Boido, 1993; Chalmers, 2002; Klimovsky, 1994; Popper, 1973)

Todo lo enunciado en relación con las incertidumbres en las mediciones, nos permite señalar que debe abordarse en los cursos de Física, no anclado a una unidad el programa o del diseño curricular o sólo vinculado con la práctica experimental, sino que debe operar como un contenido transversal, presente también en la práctica de resolución de problemas y en el desarrollo de la teoría. En suma, en la totalidad de acciones didácticas que se planifiquen.

Finalmente nos referiremos a los conceptos de "precisión" y la "exactitud". En ingeniería, ciencia, industria y estadística, se denomina precisión a la capacidad de un instrumento de medición de dar el mismo resultado en mediciones diferentes realizadas en las mismas condiciones. La precisión refleja la proximidad de distintas medidas entre sí, y es función exclusiva de los errores accidentales y de la apreciación del instrumento (Mongay, 2011).

Es un parámetro relevante, especialmente en la investigación de fenómenos físicos, ámbito en el cual los resultados se expresan como un número más una indicación del error máximo estimado para la magnitud, denominado incertidumbre de la medición. La incertidumbre de una medición indica una zona

dentro de la cual debería estar comprendido el verdadero valor de la magnitud (Cromer, 2010). La incertidumbre de una medición es una medida directa de la precisión de la misma y ambos conceptos se relacionan con la calidad de una medición. Pero, precisión no debe confundirse con exactitud.

Se denomina exactitud a la capacidad de un instrumento de acercarse al valor de la magnitud real. La exactitud depende de los errores sistemáticos que intervienen en la medición, denotando la proximidad de una medida al valor verdadero y, en consecuencia, la validez de la medida. (Mongay, ob. cit. y Cromer, ob. cit. 2010). Suponiendo varias mediciones, la exactitud no está midiendo el error de cada una, sino la distancia a la que se encuentra el valor real de la cantidad medida y el valor que arroja la medición. La exactitud de una medición está asociada con los errores sistemáticos generalmente asociados con la calibración del instrumento de medición.

Exactitud es la cercanía del valor experimental obtenido, con el valor exacto de dicha medida. El valor exacto de una magnitud física es un concepto utópico, ya que es imposible conocerlo sin incertidumbre alguna.

Sólo como preguntas muy generales que nos surgen espontáneamente cuando incorporamos las TICs a la práctica experimental e intentamos asociar incertidumbres a las mediciones directas, podríamos enunciar: ¿es posible analizar incertidumbres cuándo se incorporan las TICs a la práctica experimental? Si la respuesta es sí, entonces ¿cómo deberían incorporarse las TICs para que sea posible? ¿Será que los conceptos de error e incertidumbre toman otra dimensión? ¿Será que ahora resulta mucho más complejo poder asociar una incertidumbre absoluta a una cantidad medida? Seguramente habrá varias respuestas para cada una de las preguntas y al menos, y como una primera aproximación, intentaremos en lo que sigue discutir esas respuestas.

En este trabajo analizaremos las posibilidades de trabajar con las incertidumbres y los errores, en las mediciones en una práctica experimental en la que se utilizan equipos e instrumental que han incorporado TICs. En particular centraremos nuestra preocupación y análisis en la medida de la “posición” de un cuerpo en movimiento y en el “tiempo” en el cual ocurre cada una de las posiciones medidas. Si bien los resultados estarán asociados a las magnitudes medidas, con los instrumentos y métodos analizados, es posible transferir estos resultados al caso de medición de otras magnitudes.

II. MEDICIÓN DE DOS VARIABLES VINCULADAS, UNA DE LAS CUALES ES EL TIEMPO

Cuando en un experimento intentamos medir dos variables vinculadas, una de las cuales es el tiempo, lo que aparentaba ser sencillo, en algunos casos, deja de serlo. Por ejemplo y entre otros, estamos pensando en experimentos que necesiten

- registrar la posición de un cuerpo en movimiento en función del tiempo,
- conocer cómo se modifica la temperatura de un recipiente con un líquido en su interior, en función del tiempo,
- conocer la evolución en una especie vegetal a lo largo de días,
- registrar los cambios de diferencia de potencial en los bornes de un condensador, en función del tiempo,

En general podemos señalar que la dificultad en la medición de los tiempos ocurre:

- a. cuando se trata de analizar procesos que se desarrollan durante intervalos de tiempo muy breves. Por ejemplo el de cuerpos en caída libre, las colisiones, la mayoría de experimentos de mecánica (especialmente los que se llevan a cabo en los laboratorios de enseñanza, donde las distancias recorridas son pequeñas y en consecuencia los tiempos en los cuales evoluciona el movimiento de los cuerpos también), y
- b. cuando los experimentos demandan días u horas. Ejemplo en la medida hora por hora de la radiación solar, o en el estudio de sistemas biológicos que evolucionan en varios días.

En el caso del apartado a. un cuerpo en caída libre y dejado en libertad desde el reposo, recorre un par de metros en alrededor de 0,63s. Si queremos llevar a cabo registros (tiempo posición) en varios momentos de la caída de cuerpo, veremos que los lapsos entre dos registros consecutivos, pueden ser del orden de 0,1s. Cualquiera sea el cronómetro (analógico o digital) que utilicemos para medir los tiempos, según veremos en el próximo apartado, considerando los tiempos de reacción del individuo en pulsar la tecla que arranca y detiene el cronómetro, la incertidumbre asociada a la medición de los tiempos, nunca puede considerarse menor a 0,2s. Por ese motivo, estos experimentos no pueden llevarse a cabo con cronómetro pulsado manualmente. Ni siquiera el tiempo total de caída podría medirse de este modo.

En el caso del apartado b. registrar datos hora por hora, durante varios días o en horarios inoportunos (de noche), provoca cierta incomodidad, que veremos, se puede resolver con sistemas que automáticamente y en determinados instantes, hacen un registro de la variable que se desea medir.

Cuando se trata de sistemas en los cuales resulta necesario tomar mediciones, por ejemplo cada 30s ó 40s, esta medición puede realizarse con un cronómetro analógico o digital sin demasiadas dificultades. Midiendo con cualquier cronómetro y considerando nuevamente una incertidumbre en la medición de 0,2s, estamos operando con incertidumbres relativas en la medición del tiempo, menores al 1%.

III. EVOLUCIÓN EN LA MEDICIÓN DE LOS TIEMPOS (algunos instrumentos y montajes)

En este apartado revisaremos la evolución de los instrumentos utilizados para medir tiempos, en algunos casos instrumentos que miden el tiempo que demora un móvil en recorrer una cierta distancia, y en cada caso, señalaremos algunas de sus características.

Antes de ello, veamos una situación que nos permite medir el movimiento de un cuerpo, con una aceleración varias veces menor al valor de la aceleración de la gravedad. De ese modo se incrementa el intervalo de tiempo en el cual ocurre el fenómeno, que provoca que los tiempos a medir no sean tan pequeños.

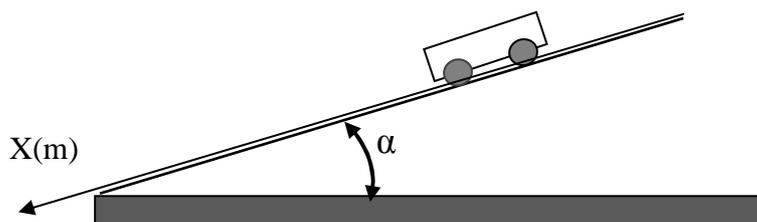


FIGURA 1: Movimiento con aceleración menor que “g”.

En los albores del estudio del movimiento de los cuerpos (Boido, 1993), el “plano inclinado”, figura 1, resolvió este inconveniente proporcionando un sistema en el cual la aceleración de un cuerpo era varias veces menor que la de la gravedad ($g \cdot \text{sen} \alpha$) y en consecuencia el tiempo en recorrer un par de metros, se incrementaba a 2s ó 3s. Por ejemplo, para un ángulo del plano inclinado de $\alpha=5^\circ$, la aceleración resulta $9,80\text{m/s}^2 \cdot \text{sen} 5^\circ = 0,87 \text{ m/s}^2$. Para este valor de aceleración, el tiempo que necesita el móvil para recorrer 2m de pista es

$$t = \sqrt{2 \cdot h / a} \approx 2,14\text{s}.$$

Aún con esta aceleración, varias veces menor a la de la gravedad, los tiempos entre dos posiciones separadas aproximadamente 0,50m, son pequeños y las incertidumbres asociadas a su medida, pueden ser importantes. La máquina de Atwood, también aportó este tipo de solución.

Cronómetro analógico. Si pensamos en registrar los tiempos con un cronómetro analógico Figura 2, la apreciación del instrumento es de 0,2s (1s está dividido en 5 partes), y la estimación también puede tomarse como de 0,2s. En este caso si consideramos que el tiempo de reacción del individuo en arrancar y detener el cronómetro accionando sobre el pulsador es de 0,2s, (puede ser algo superior), la incerteza asociada a la medición de los tiempos será del orden de 0,2s ó 0,3s.



FIGURA 2: Cronómetro analógico.



FIGURA 3: Cronómetro digital.

Cronómetro digital. En el caso del cronómetro digital, figura 3, el display indica las centésimas de segundo, por lo que la apreciación del instrumento es de 0,01s. Sin embargo, nuevamente deben considerarse los tiempos de reacción del individuo en el inicio y el final de la cuenta en el cronómetro, por lo cual la estimación no se considera, como en el caso de los cronómetros analógicos, menor a 0,2s. En consecuencia ambos cronómetros tienen similares incertezas en las mediciones de los tiempos. Obviamente, si de alguna manera, un cronómetro digital se arranca y detiene automáticamente con señales eléctricas, disparadas por el paso del cuerpo en movimiento, estaríamos en condiciones de desestimar los errores de reacción y en ese caso la incertidumbre de la medición del tiempo, sería de 0,01s.

Registrador de movimientos. Más adelante, ya en la década del 70 del siglo pasado, apareció el registrador de movimiento que se indica en la figura 4. Este instrumento, en muchos casos construido en los propios laboratorios de enseñanza, tenía una lengüeta de chapa de acero, muy elástica, que vibraba a una frecuencia de 100hz excitada por un campo magnético que producía un transformador alimentado con la *diferencia de potencial alternada de línea* (220V – 50Hz). La lengüeta, tenía una puntita metálica que marcaba un punto sobre una cinta adherida al cuerpo. Los puntos en la cinta indicaban la posición del cuerpo y el lapso entre puntos era de 0,01s. El Δt asociado a los valores de “t” medidos, podían estimar una milésima ($\Delta t=0,001s$) dado que todo dependía del valor de la frecuencia de la diferencia de potencial eléctrica de línea, que se la suponía igual a 50hz (100 semiciclos por segundo) y casi invariable (sin errores accidentales ni sistemáticos). Este instrumento se utilizó con buen resultado en distintos experimentos de cinemática (caída libre, plano inclinado, péndulo, y otros en los cuales se midiese la posición de un cuerpo en movimiento en varios instantes de tiempo). El roce de la cinta en su paso por el registrador, llegó a ser un problema.

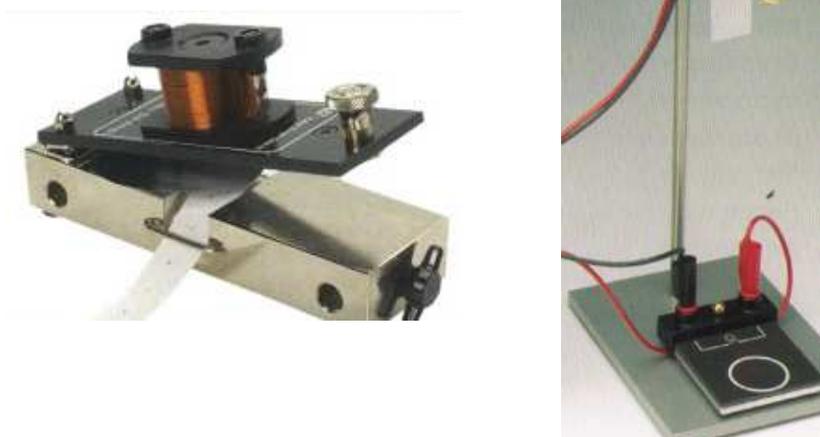


FIGURA5: Electroimán sosteniendo un cuerpo - Práctica de caída libre.

Los cronómetros digitales comenzaron a bajar de precio, hacia finales de la década del 70, y no sólo se utilizaron en reemplazo de los cronómetros analógicos, sino que además fueron utilizados sin pulsadores: se los arrancaba y detenía con una señal electromecánica proveniente del equipo en el cual se movía el cuerpo. Para los cuerpos en caída libre, tal como lo indica la figura 5, se utilizaron electroimanes para sostener al cuerpo (una bolita de acero) antes de iniciar su caída, y hacia el final del recorrido del cuerpo, se colocaba un interruptor mecánico que se accionaba con la llegada de la bolita. Con una llave eléctrica se iniciaba la caída del cuerpo desactivando el electroimán al tiempo que se iniciaba con la misma llave el funcionamiento de un cronómetro digital o frecuencímetro, y con el interruptor del fin de la caída finalizaba la cuenta del contador de tiempos. Este método funcionó bien, pero por un lado, no permitía medir posiciones en tiempos intermedios y por otro, resultaba complejo adaptarlo a otros experimentos que no fueran de caída libre. Las incertidumbres absolutas asociadas a la medición de los tiempos de inicio y de fin de la caída, eran las del cronómetro supuestas en $\Delta t=0,01s$.

Barrera infrarroja. La década del 80, inauguró momentos en los cuales la señal eléctrica que arrancaba y detenía el contador de tiempos, era una barrera infrarroja. En la figura 6, vemos una pieza en forma de herradura, que en una de sus ramas (la de la izquierda) posee LED infrarrojos, que emiten luz que captan sensores infrarrojos que se encuentran en la rama de la derecha. Un LED testigo, indica si llega o no llega luz a los detectores de infrarrojo.

Cuando un cuerpo pasa por entre las ramas de la herradura, no llega la luz de los LED al sensor y este modifica su salida de señal eléctrica. Este cambio es detectado por la PC, a la cual está conectada la barrera, y ésta asocia el valor de tiempo de su reloj interno a esta barrera. Como por otro lado se ha cargado la posición de la barrera, la PC puede generar el par ordenado (t,x) . Si disponemos de varias barreras a lo largo de una pista o plano inclinado, conectadas a una PC, podemos generar en pantalla una tabla con los pares ordenados (t,x) del movimiento del cuerpo sobre la pista.

En relación con las incertidumbres asociadas a los tiempos medidos por el contador, son dos las fuentes de incertezas que debemos considerar: por un lado los errores de calibración del reloj de la PC (puede ser un dato dado por el fabricante del equipo), es decir la exactitud de la medida de los tiempos, y otra, la indeterminación provocada por el momento en el cual el cuerpo en movimiento interrumpe el paso del haz. Consideramos que esta última es muy pequeña, ya que depende de dispositivos electrónico muy veloces y que si recurrimos a la experiencia para hacer un juicio de valor, esta nos señala que en varias medidas, los resultados son similares hasta la tercera o cuarta cifra significativa de los valores obtenidos. En general puede considerarse que la incertidumbre en la medición de los tiempos, es del orden de 0,001s.

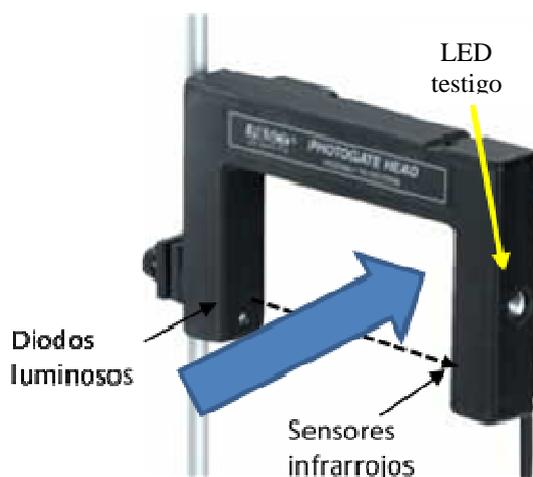


FIGURA 6: Barrera infrarroja

Experimentalmente se determina la posición de la barrera. Se desplaza manualmente el cuerpo de manera que el LED testigo acuse su presencia (que ha interrumpido el haz) y en esa posición del cuerpo, se observa alguna parte o aguja solidaria al mismo, que referencia su posición respecto de una cinta métrica adherida a la pista por la que desplaza. El mismo procedimiento se lleva a cabo con cada una de las barreras colocadas en la pista. Operando de este modo la incertidumbre en la posición de las barreras, no superará 1mm.

Este sistema es preciso y exacto (si así lo fueran la calibración de la regla que se utilice para medir la posición y el reloj de la PC), y sólo presenta como inconveniente la necesidad de contar con varias barreras y de la necesidad de determinar su posición. Algunas dificultades en relación con su adaptación a otros movimientos, fueron resueltas con una ruedita perforada movida por un hilo que a modo de polea se fijaba en el cuerpo cuyo movimiento se deseaba estudiar.

Sistema de adquisición de datos (SAD) con sensor ultrasonoro. El SAD, instrumento electrónico con pantalla de lectura tipo monitor, junto a un sensor ultrasonoro de posición, se utiliza como medidor de espacios y tiempos asociados al movimiento de un carrito que se deja caer por una pista. La pista posee en uno de sus laterales una cinta métrica que permite ubicar la posición del carrito (no es necesaria), y en una de sus extremos se coloca el sensor de posición. Figura 7. En la pantalla del monitor, pueden verse la tabla de pares ordenados (t,x) , y las funciones posición, velocidad y aceleración, correspondiente al movimiento del cuerpo. Se pueden ajustar las cifras significativas con las cuales opera el sistema y que aparecen en la tabla y también puede ajustarse el número de lecturas (pares ordenados) que recoge por segundo. El SAD también puede realizar otras funciones.

El sensor de posición, opera con una señal de ultrasonido (mayor que la frecuencia audible) y por un sistema similar a la de un radar, emite un pulso ultrasonoro, y mide el tiempo que tarda desde que sale del sensor hasta que regresa al mismo, luego de recorrer una cierta distancia (ida y vuelta) hasta el objeto cuya posición se quiere determinar. Con este dato del tiempo y el valor de la velocidad del sonido, el aparato calcula automáticamente la distancia a la cual se encuentra el objeto, es decir, su posición.

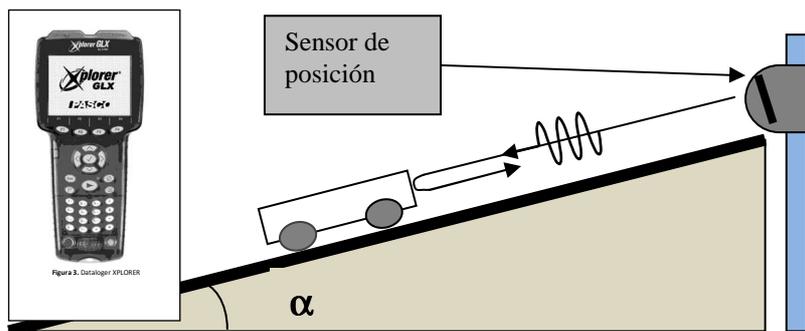


FIGURA 7: SAD con sensor ultrasonoro de posición.

La precisión y exactitud asociada a la medida de espacios y tiempos, es algo complejo de determinar. La exactitud de los valores de tiempo medidos, depende principalmente de la calibración del reloj interno del SAD y sobre la precisión de esa medida, es muy poco lo que podemos decir. La medida de los espacios (tiempo que tarda el pulso desde que sale hasta que regresa al sensor ultrasonoro) también depende de la calibración del reloj del SAD, y además de la indeterminación del rebote del pulso en el móvil, de la velocidad del sonido, y probablemente de alguna otra cosa que no sabemos. Comparando lo que mide el SAD con la posición del cuerpo en relación con una cinta métrica, hemos detectado errores de hasta 0,005m en distancias del orden de unos 0,500m (1%). El error señalado estaría indicando que nos aconsejable hacer que el sistema opere en la medida del espacio, con más de dos cifras significativas. En suma, las medidas pueden ser precisas y exactas, pero se pierde el saber de qué dependen, por lo que es poca la modificación que se puede proponer para mejorar la calidad de la medición.

Análisis de fotogramas. Ya hacia finales del siglo anterior, pero con mayor frecuencia en los últimos años, se utiliza el desgranamiento en cuadros de una película para medir la posición de un cuerpo y el tiempo en el cual la ocupa (Sampallo y Meza, 2006; Schapschuk y otros, 2007; Yanitelli y otros, 2007; Martín y otros, 2014; Martín y González, 2014; Fonseca y Maidana, 2014; Ferreyra, 2008). Este método también se utilizó con alguna variante en las décadas del sesenta, operando con cámaras fotográficas con el diafragma permanentemente abierto, y con una lámpara tipo flash que iluminaba la escena con una determinada frecuencia. La escena totalmente a oscuras, era la caída libre de un cuerpo con una regla de fondo. Lo que finalmente se obtenía era una foto (fotos superpuestas), en la cual y con la regla de fondo se podía conocer la posición de la bolita en su caída y en cada momento en el que era iluminada. El tiempo entre posiciones sucesivas, lo determinaba la frecuencia del estroboscopio.

Hoy es muy sencillo filmar un cuerpo en movimiento, separar los cuadros y analizar cuadro por cuadro su evolución. Para ello pueden utilizarse programas como el Tracker, Geogebra, Movie maker, etc. Todos estos programas separan los cuadros, y algunos de ellos permiten el seguimiento de un punto del cuerpo en movimiento, en los distintos cuadros y calibrando una distancia en la pantalla, el programa puede proporcionar la posición del cuerpo en cada cuadro. El tiempo en el que ocurre cada cuadro, lo conoce la PC que es quien lo genera. El mismo programa puede proporcionar en una tabla en el monitor de la PC, los pares ordenados obtenidos, puede calcular los parámetros cinemáticos que definen el movimiento y puede representar las funciones posición, velocidad y aceleración. También proporciona los errores asociados al valor de los parámetros que calcula. En fin, en un par de minutos, se puede tener toda la información del experimento de caída de un cuerpo. Sin embargo, nuevamente las medidas pueden ser precisas y exactas, pero se pierde el saber sobre cómo se generan, de qué depende su calidad y en consecuencia, es poca la modificación que se puede proponer para mejorarla.

IV. LOS EXPERIMENTOS, LOS MONTAJES EXPERIMENTALES Y LA CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO

Son varios los procesos cognitivos que deben darse para la construcción de conocimientos, y estos procesos deben estar presentes en todas las acciones didácticas que se lleven a cabo en un diseño curricular, incluso, en la práctica experimental. Cuando incorporamos las TICs al diseño de actividades experimentales, podemos favorecer o no la presencia de los procesos cognitivos como: razonar, transferir, explicar, estimar, comparar, inferir, argumentar, evaluar y reflexionar.

Un peligro de la incorporación de las TICs al trabajo experimental, es que la práctica no favorezca los procesos cognitivos señalados en el párrafo anterior. Si operamos con un equipo que funciona como una caja negra (Llera y otros, 2011), que sólo proporciona datos, sin que sepamos muy bien de dónde

proviene y cuáles son sus incertidumbres asociadas, estaremos desaprovechando la oportunidad de generar en la estructura cognitiva de los estudiantes ejemplo concreto de variables medidas y de cómo combinarlas para obtener distintas magnitudes físicas. El desconocimiento del modo como se generan las variables, pares ordenados (t,x) y de cómo se combinan estas variables para obtener la velocidad y luego la aceleración, provoca que los estudiantes realicen la práctica experimental en forma mecánica, sin que la misma contribuya a un aprendizaje significativo de conceptos cinemáticos básicos. También el desconocer el origen de las incertidumbres asociadas a las magnitudes medidas, no nos permitirá hacer propuestas para mejorar la calidad de la medición.

En la descripción de los distintos modos de medir las variables espacio-tiempo, creemos que se percibe que, a mayor presencia de TICs, más difícil resulta el proceso de determinar las incertidumbres asociadas a la medición.

Es verdad que podríamos operar de modo que los alumnos conozcan el funcionamiento básico de los equipos que incorporan las TICs, lo que les permitiría enriquecer su estructura de conocimiento para que la práctica experimental resulte potencialmente significativa (Ausubel y otros, 1983) y tal vez de esa manera podrían conocer el origen de las variables, y sus incertidumbres asociadas errores. Estimamos que llevaría demasiado tiempo y que dichos saberes escapan a los alcances de la formación en Física. A continuación propondremos un modo de recuperar algunos aspectos de la práctica tradicional de medición de espacios y tiempos, incorporando las TICs.

V. EL SEGUNDERO ANALÓGICO Y LOS NUEVOS FOTOGRAMAS

Con el propósito de aproximar nuestra propuesta al esquema experimental clásico para medir espacio y tiempos de un cuerpo que cae por un plano inclinado, pensamos que en cada cuadro de la película, debíamos tener en la imagen, simultáneamente, información de la posición del móvil y del tiempo. También fue nuestro propósito que el experimento pudiese filmarse con máquinas fotográficas sencillas y/o con celulares, para que los alumnos pudiesen utilizar instrumental propio, en razón de dar importancia al sentido de pertenencia de la práctica. Teníamos información que en casi todos los casos, la frecuencia de los cuadros era de alrededor 30 por segundo, y luego de los primeros experimentos advertimos que esta frecuencia podía cambiar con la iluminación de la escena. Ocurre que si la iluminación es pobre, el tiempo de exposición de la escena para cada cuadro se incrementa, y el lapso entre un cuadro y el siguiente, también se incrementa.

Para tener en cada cuadro información del tiempo y de la posición del móvil, incorporamos una cinta métrica pegada a la pista y un cronómetro digital para medir hasta la centésima del segundo. Ambos, cronómetro y cinta, aparecían en cada fotograma, con el carrito que cambiaba de posición en cada registro. Luego de los primeros experimentos advertimos que:

- sobre la cinta métrica clásica era muy difícil leer, dado que no se percibían las rayitas indicadoras de los milímetros,
- en el cronómetro no se podía leer la centésima de segundo, en razón de que para cada cuadro el diafragma permanecía abierto dos o tres centésimas de segundo, lo que provocaba que la imagen del display no proporcionara un número definido en la centésima.

Los inconvenientes señalados en la lectura sobre la imagen, de la posición del carrito en relación con la cinta métrica y del tiempo en el cronómetro, mejoraba con la iluminación de la escena, pero aún así era muy dificultosa su lectura, especialmente la del cronómetro. Así fue que probamos con el “segundero analógico”.

Este segundero, figura 8, se fabricó en el Laboratorio del Grupo de Investigación usando un motor de corriente continua de 5V con un reductor de velocidad. La diferencia de potencial con la que se alimentó el motor fue calibrada para que el segundero dé una vuelta en un segundo. Se calibró ajustando el tiempo que tardaba el segundero en dar 10 vueltas, con un cronómetro patrón. Luego fue contrastado usando la filmación observando si el segundero acusaba las centésimas esperadas entre cuadros. La incertidumbre estimada del segundero es $\Delta t=0,01s$, en la escala también fabricada en el Laboratorio. Si bien seguimos midiendo como cifra más pequeña, la centésima ($\Delta t=0,01s$), desde la didáctica, la práctica se enriqueció notablemente.

También y como se observa en la figura 8, la cinta métrica fue reemplazada por una tira de papel impresa en el laboratorio, con indicaciones (barras negras y espacios, de 0,5cm).

Un inconveniente que tuvimos que resolver fue que la aguja (en un principio sin cola) se movía algo más lentamente al subir (medio giro de la izquierda), que al bajar (medio giro de la derecha). Con la cola se balanceó el momento de las zonas de la aguja respecto de su eje de giro.

Este fue un primer prototipo para la solución que encontramos para poder medir el tiempo en cada cuadro. Pensamos para próximos diseños, en utilizar un motor paso a paso. De ese modo, podríamos garantizar que el movimiento del segundero sea un movimiento circular uniforme.



FIGURA 8: Segundero analógico.

Probado este método para medir espacios y tiempos, filmando con un celular, se obtiene una película que contiene información de la posición del carrito y del tiempo, en cada uno de sus cuadros. Incluso, el celular puede pulsarse manualmente y se obtiene cada vez que se lo interrumpe un par ordenado (x,y). La figura 9 muestra un fotograma de un video, tomado con un celular y detenido manualmente.



FIGURA 9: Fotogramas de una filmación de caída de un cuerpo por un plano inclinado.

Sobre la determinación de incertidumbres asociadas, en lo que se refiere a la precisión en la medida de la posición y del tiempo, se opera como se lo hacía clásicamente. Incluso, puede trabajarse el concepto de apreciación del instrumento y de estimación. Naturalmente, y como clásicamente ocurría, los errores de calibración afectarán la exactitud de las medidas, pero como ahora se conoce el modo como funcionan los instrumentos, puede operarse sobre dicho modo, para mejorar también la exactitud.

VI. MEDICIÓN DE LA ACELERACIÓN POR DISTINTOS MÉTODOS

Con el objetivo de comparar resultados se midió la aceleración de un carrito que se mueve por un plano inclinado, figura 10, por tres métodos. Los tres resultados, uno por cada uno de los métodos, se compararon con el cálculo teórico de la aceleración. Los métodos fueron:

- Usando el SAD con el sensor ultrasónico de posición,

- A través de software comercial que permita separar cuadros (Traker), usando una filmación (con cámara lumix FZ40) del movimiento del carro y usando para el cálculo la información de los tiempos entre cuadros con el que filma la cámara y para la posición, el sistema de seguimiento que contiene el mismo programa.
- Utilizando el Segundero Analógico y la cinta descrita en apartados anteriores, filmando con una cámara sencilla (puede ser un celular) y utilizando cualquier programa que permita separar los cuadros. También podría haberse utilizado el celular con interrupción manual. Cada cuadro proporcionará información del tiempo (dato proporcionado por el segundero analógico) y de la posición (lectura sobre una cinta métrica especialmente diseñada para este experimento).



FIGURA 10. Montaje experimental

Cálculos teóricos de la aceleración del plano. El valor de la gravedad del lugar se obtuvo de la base de datos del PTB (Instituto de Metrología de Alemania) que desarrolló un sistema que, desde una página web, permite a conocer la aceleración gravitacional local en cualquier punto del globo. <http://www.ptb.de/cartoweb3/SISproject.php>. El valor de la aceleración en el plano inclinado se calculó con la expresión $a = g \cdot \sin \alpha$. Tomando para las coordenadas del laboratorio S:31° 26' 7,15" y O:64° 11' 39,45", se obtuvo $g=9,7952 \text{ m/s}^2$.

El valor de la aceleración de la gravedad ya tiene en cuenta la altitud del lugar. En próximos trabajos evaluaremos si es pertinente o no, considerar la gravedad del sol y de la luna, cuya importancia dependerá de la hora en la cual se realice el experimento.

Para calcular el ángulo del plano inclinado se utilizó como nivel una manguera con agua (con detergente para garantizar su desplazamiento dentro de la manguera) y se midió de manera clásica la altura de los extremos del plano. Luego se calculó el ángulo, y finalmente para la aceleración teórica, resultó el valor $a=0.347 \pm 0.008 \text{ m/s}^2$.

Cálculos experimentales por tres métodos. Para cada uno de los tres métodos prácticos se obtuvieron datos de posición y tiempo del carro a lo largo de la trayectoria por el plano inclinado, de acuerdo a lo expresado en apartados anteriores. Con estos datos se realizaron los cálculos de aceleración de dos formas distintas.

1° Forma: La primera forma consistió en tomar intervalos de posición y tiempo pequeños para calcular "n" velocidades "instantáneas" a lo largo del recorrido, y luego tomando intervalos de velocidades y tiempos se calcularon "n" aceleraciones a lo largo de la trayectoria. Las aceleraciones fueron promediadas, se calculó la desviación estándar y el resultado se informa con el nombre "a₁".

2° Forma: La segunda forma consistió en considerar intervalos más grandes: valores de posición y tiempo, en los momentos iniciales, y cercanos al final del recorrido (en la segunda mitad del recorrido). Luego se calculó la aceleración usando la ecuación $a=2 \cdot (x-x_0)/(t-t_0)^2$ expresión válida cuando la velocidad inicial es igual a cero. Esta ecuación se convierte en $a=2 \cdot x/t^2$, cuando la posición inicial y el instante de tiempo inicial, son cero. Las aceleraciones fueron promediadas, se calculó la desviación estándar y el resultado se informa con el nombre "a₂".

TABLA I. Resumen de resultados.

	aceleración usando intervalos	aceleración usando posición final
1.Cálculos con SAD	$a_1=(0,32\pm0,03)\text{m/s}^2$	$a_2=(0,324\pm0,003)\text{ m/s}^2$
2.Cálculos con programa traker	$a_1=(0,33\pm0,05)\text{ m/s}^2$	$a_2=(0,342\pm0,007)\text{ m/s}^2$
3.Cálculos con segundero	$a_1=(0,32\pm0,05)\text{ m/s}^2$	$a_2=(0,343\pm0,006)\text{ m/s}^2$
4.Cálculo teórico	$A=(0,347\pm0,008)\text{ m/s}^2$	

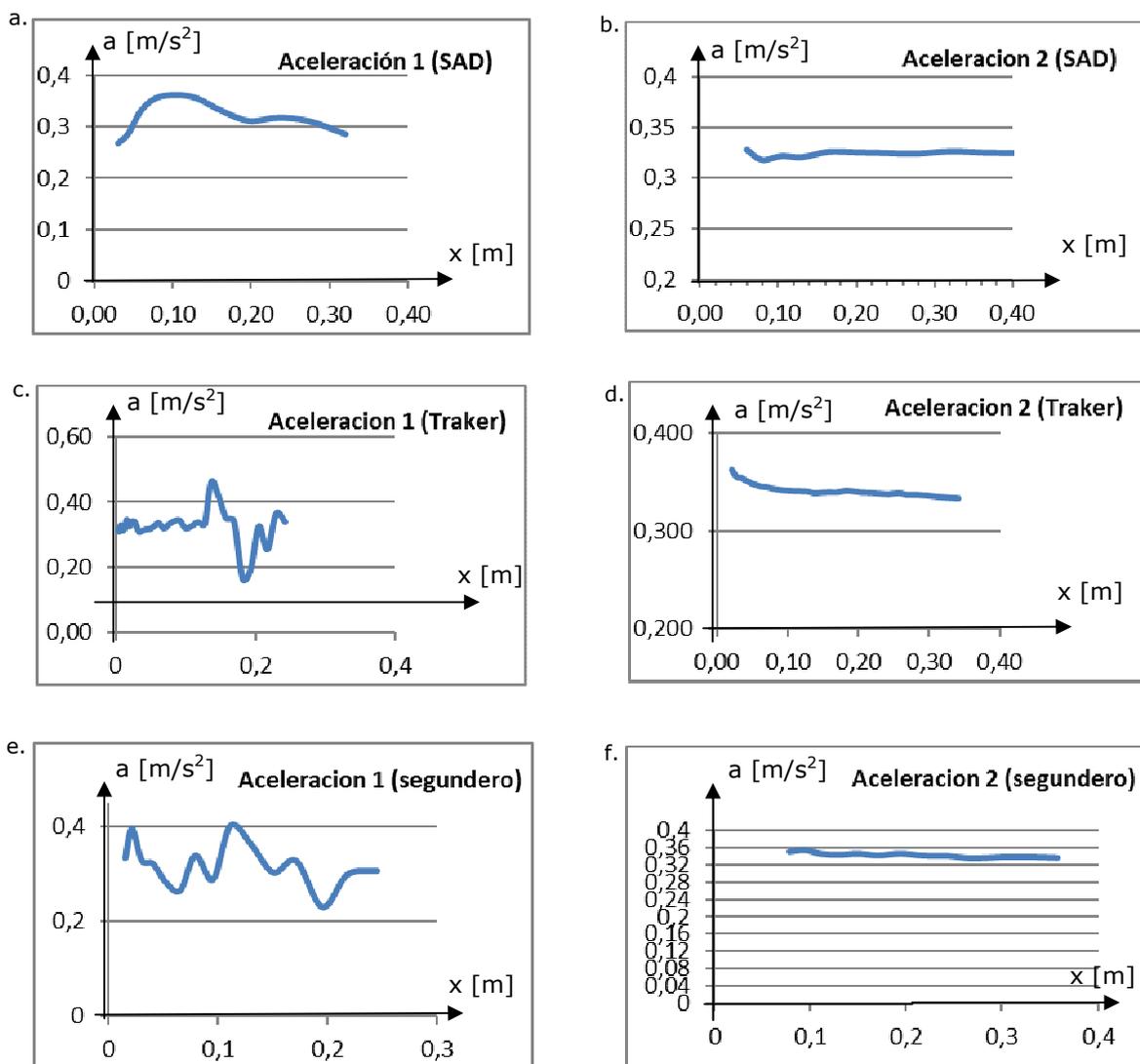


FIGURA 11: Representaciones gráficas de aceleración vs. posición, por los tres métodos.

Los valores obtenidos para la aceleración por los tres métodos, son comparables entre sí y comparables con el valor de aceleración teórica. Esto no invalida la propuesta de medir con el “segundero analógico” en razón de que a igual precisión y exactitud de las mediciones, proporciona un modo de medir en el que se pueden analizar las incertidumbres asociadas a las mediciones.

VII. CONCLUSIONES

Con la introducción de las TICs en el ámbito científico y en el ámbito educativo se produce una revolución en las técnicas y en los procesos de medición, básicamente por el aumento de la precisión y la

facilidad de adquisición, almacenamiento, procesamiento y presentación de los datos. Este aumento en la precisión de los instrumentos de medición obliga a mejorar la exactitud de los mismos con lo que se requieren procedimientos de calibración más eficientes y confiables, que por consiguiente son más complicados y caros. Los costos de estos procesos de calibración y certificación son generalmente afrontados por los laboratorios de investigación o por la industria que poseen los recursos y/o deben trabajar bajo protocolos de certificación de calidad.

Esto último no ocurre en el ámbito de la educación fundamentalmente debido a cuestiones vinculadas con los costos de calibración, por lo que los procedimientos de adquisición de datos que utilizan herramientas TICs si bien han mejorado mucho su precisión no han mejorado demasiado su exactitud. Es así como tenemos termómetros digitales que aprecian $0,1^{\circ}\text{C}$ y tienen un error sistemático de $0,5^{\circ}\text{C}$, o balanzas digitales que aprecian hasta $0,001\text{g}$ con errores sistemáticos que pueden superar los $0,1\text{g}$, lo que da como resultado unas mediciones muy precisas pero inexactas, que inutilizan estos sistemas de adquisición de datos si no se dispone de los medios tecnológicos y/o económicos para lograr una calibración adecuada (curva de calibración) acorde a la apreciación del instrumento antes de usarlo.

De esto se desprende que no nos debemos dejar engañar por el falso concepto de precisión de un instrumento o sistema de medición sino que tenemos que evaluar seriamente la calibración y puesta a punto del equipamiento de adquisición de datos que es en definitiva lo que nos va a garantizar resultados acordes con los valores reales en nuestros dispositivos experimentales.

Cuando se trata de un experimento realizado como actividad de una práctica docente, no sólo es importante el resultado que se logre en términos de precisión y de exactitud, también importa que el equipo muestre con claridad las variables en juego, el modo como se miden dichas variables y de qué dependen las incertidumbres que se les asocian, y finalmente, que permita modificar la arquitectura del equipo orientando los cambios a lograr una mejora en la calidad de la medición.

REFERENCIAS

Ausubel, D. P., Novak, J. D. y Hanesian, H. (1983). *Psicología Educativa: Un punto de vista cognoscitivo*, Trillas, México, (2da. ed.).

Boido, G. (1985). Historia de la ciencia y vida de la ciencia. *Revista de Enseñanza de la Física*. 1 (1). pp. 19-25.

Boido, G. (1993). La reconstrucción de experimentos en la historia de la ciencia: Galileo en debate. *Revista de Enseñanza de la Física*. 6 (1). pp. 66-72.

Bravo, S. y Pesa, M. (2007). El aprendizaje del concepto de error experimental en la medición de magnitudes Físicas. *Memorias de REF XV*. Páginas: 10p.

Cernuschi, F. y Greco, F. (1968). *Teoría de errores de mediciones*. Editorial Eudeba. Buenos Aires. Páginas: 322.

Capuano, V. y González, M. (2008). Sobre cómo se incorporan las NTICS a la práctica docente en general y a la práctica experimental en Física, en particular. *Memorias en CD del VI CAEDI. Sección "Impacto en las (NTICS)*. Trabajo 355. Páginas 8.

Colombo, L. (1991). Cálculo de errores experimentales. *Cooperativa de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas de la UNTucumán*.

Cromer, A. y Fernández Ferrer, J. (2010). *Física en la ciencia y en la industria (3era. edición)*. Editorial Reverté, S.A. p. 15. ISBN 978-84-291-4156-6.

Chalmers, A. (2002). *¿Qué es esa cosa llamada Ciencia?* Siglo veintiuno de Argentina Editores. Capital Federal, Argentina. Páginas: 247.

Ferreira, F. (2008). Utilización del análisis de secuencias cinematográficas para la formación de conceptos básicos en automatización industrial. *Memorias del CAEDI VI*. Páginas: 7.

Fonseca, M. y Maidana, N. (2014). Aplicação do Laboratório Virtual no Curso de Licenciatura em Física da Universidade de São Paulo. *Memorias REF XVIII*. Catamarca (estrategias didácticas).

- Klimovsky, G. (1994). *Las desventuras del conocimiento científico*. Editorial A-Z. Páginas: 418.
- Kofman, H. (2005). Nuevos contenidos y metodologías con NTICs en la Enseñanza de la Física. *Revista de Física de La Argentina (FCEfyN –UNC) Número extraordinario*. pp 20-27.
- Llera, M.; Scagliotti, A.; Zárate, O. y Coiro, A. (2011). Métodos alternativos para estudiar las leyes de reflexión. *Memorias de REF XVII*. Páginas: 12p.
- Martín J.; Martínez, M.; Micoló, M. y Schliamser, F. (2014). El Video Digital como Sistema de Adquisición de Datos. Una Aplicación Particular: La Medición de Variables Cinemáticas en la Marcha Humana. *Memorias REF XVIII*. Catamarca (estrategias didácticas).
- Martín, J. y González, M. A. (2014). Las Imágenes Digitales y la Práctica Experimental en la Enseñanza de las Ciencias Naturales y la Tecnología. Una Indagación Bibliográfica. *Memorias REF XVIII*.
- Mongay Fernández, C. (2011). *Quimiometría* (Universidad de Valencia. Servicio de Publicaciones edición). 1. p. 27. ISBN 978-84-370-8644-6.
- Pontes, A. (2001). *Nuevas formas de aprender Física con ayuda de Internet: una experiencia educativa para aprender conceptos y procesos científicos*. Revista Alambique N° 29, pp 84-94.
- Popper, K. (1973). *La lógica de la investigación científica*. Madrid, España. Editorial Tecnos.
- Sáez, M.; Pintó, R. y García, P. (2005). Relaciones conceptuales en el uso de MBL para el estudio del movimiento, *Enseñanza de las Ciencias*. Número Extra. VII Congreso.
- Sampallo, G. y Meza, S. (2006). La cámara digital en el estudio de movimientos. *Memorias del V CAEDI. Tomo 1*, pp. 527-534.
- San Martí, N. e Izquierdo, M. (2001). Cambio y conservación en la enseñanza de las ciencias ante las TIC. *Revista Alambique N° 29*, pp. 71-83
- Schapschuk, A.; Bouchet, E.; Freyre, C.; Vincitorio, F. y Gervasoni, J. (2007). Análisis de choque elástico de cuatro bolas de billar en dos dimensiones, a partir de fotogramas. *Memorias de REF XV*. Páginas: 11p.
- Testa, I.; Monroy, G. y Sassi, E. (2002). Student's reading images in kinematics: the case of real-time graphs, *International Journal of Science Education*, 24 (3), 235-256.
- Yanitelli, M.; Rosolio, A. y Massa, M. (2007). UN sistema informático para adquirir y procesar datos experimentales: de "caja negra" a instrumento de medida. *Memorias de REF XV*. Páginas: 10p.
- Yanitelli, M.; Rosolio, A. y Massa, M. (2004). La práctica experimental como generadora de ideas para la asimilación de nueva información, *Memorias del VII SIEF*.