

El aprendizaje de la física, TIC y el estudio del hombre más rápido del mundo

Physics learning, ICT and the study of the fastest man in the world

Francisco Pedroso Camejo^{1*}

¹Facultad de Ciencias. Departamento Matemática-Física. Universidad de Ciencias Pedagógicas “Enrique José Varona”. Avenida 78 y 41. Ciudad Libertad, CP 900, La Habana, Cuba.

*E-mail: fraleny2014@gmail.com

Recibido el 20 de noviembre de 2020 | Aceptado el 5 de marzo de 2021

Resumen

El objetivo de este estudio es investigar las potencialidades didácticas del uso de la tecnología para desarrollar aprendizajes conceptuales, procedimentales y actitudinales en la formación de profesores de física. La educación de profesores de física debe atender el papel de la tecnología para incidir o facilitar el aprendizaje activo, significativo y creador basado en problemas del mundo real. Es insuficiente en la literatura especializada las investigaciones sobre las potencialidades didácticas del uso de métodos numéricos para contribuir al aprendizaje cognitivo, procedimental y actitudinal de los profesores de física en formación inicial. El estudio cinemático, dinámico y energético del hombre más rápido del mundo y su rendimiento en la carrera despiertan un gran interés en los estudiantes. En la actualidad se requiere proveer a los futuros profesores con un robusto sistema de contenidos cognitivos, procedimentales-estratégicos y actitudinales a través de la resolución de problemas de interés sociocultural, personal o profesional. En este artículo se analizan los resultados obtenidos en el aprendizaje de un grupo de profesores de física en formación en cuanto a conceptos, habilidades y actitudes desde la resolución de problemas interesantes del mundo real.

Palabras clave: Formación de profesores; Física; Método numérico; Resolución de problemas.

Abstract

The objective of this study is to investigate the didactic potentialities of the use of technology to develop conceptual, procedural and attitudinal learning in the formation of Physics teachers. Physics teacher education must address the role of technology to influence or facilitate active, meaningful and creative learning based on real world problems. Research on the didactic potential of the use of numerical methods in the construction of models in the cognitive, procedural and attitudinal learning of physics teachers in initial training is insufficient in the specialized literature. The kinematic, dynamic and energetic study of the fastest man in the world and his performance arouses great interest in students to know the characteristics and factors that allowed establishing the world record in the 100 m dash. Currently it is required to provide teachers with a robust system of cognitive, procedural-strategic and attitudinal content through the resolution of problems of socio-cultural, personal or professional interest. This article analyzes the results obtained in the learning of a group of physics teachers in training in terms of concepts, skills and attitudes from the resolution of interesting problems in the real world.

Keywords: Teacher education; Physics; Numeric methods; Solve problems.

I. INTRODUCCIÓN

Las nuevas exigencias al aprendizaje de la física en el tercer milenio delimitan intensificar la estimulación por el estudio de esta asignatura en la escuela media y la formación de profesores con una actualizada orientación cultural de sus contenidos científico-tecnológicos y didácticos. Las insuficiencias identificadas en el aprendizaje de la física por diversos investigadores en los últimos años (Thornton y Sokoloff, 1998; OECD, 2014; Leilani y Bailey, 2017; Benarroch y Núñez, 2015; Escudero, 2016; Bigliani, Capuano, Gutiérrez y Martín, 2017) alertan sobre la necesidad de enfrentar a los estudiantes hacia problemáticas de intereses socioculturales y vinculados a esferas de alta motivación personal y profesional (Garriz, 2010; Coll, Dahsah, y Faikhamta, 2010; Nielsen, 2012; Solbes, 2013; y Sanmartín y Marchán, 2015). La explosiva carrera de 100 metros planos es una modalidad del atletismo de mucha aceptación en todas las edades por sus características y en esta se aplican importantes conceptos, leyes y principios de la física.

Es muy interesante reflejar la estrecha relación entre la física y el deporte en el proceso de enseñanza aprendizaje actual para incidir en la estimulación de la motivación de los estudiantes, su formación conceptual, reflejar aspectos distintivos de la investigación científica contemporánea, potenciar nuevas estrategias para la resolución de problemas con el uso de recursos informáticos y contribuir con coherencia a la educación en valores y actitudes ciudadanas responsables y solidarias. La problemática crucial que orienta esta investigación es: ¿Cómo potenciar los aprendizajes conceptuales, procedimentales y actitudinales con el uso de las TIC en la formación inicial de profesores de física?

En este empeño, se seleccionó el estudio del actual récord mundial de 100 metros planos implantado por el excepcional atleta jamaicano Usain Bolt en el Campeonato Mundial de Atletismo de Berlín en el año 2009. Usain Bolt es uno de los más relevantes deportistas en la historia del atletismo, que goza de alto prestigio y popularidad en todo el mundo. Es el ganador de 8 medallas de oro en olimpiadas y también ostenta los récords mundiales en 100m, (9,58s), 200 m, (19,19s), y el relevo 4x400 m (36,84s).

El rendimiento de Bolt ha sido un tema de análisis desde diferentes aristas en numerosas investigaciones, debates y discusiones en indagaciones biomecánicas. La literatura de investigación ha intentado explicar el rendimiento de Bolt empleando parámetros espacio-temporales (Graubner & Nixdorf, 2011; Mackala & Mero 2013), modelos matemáticos, físicos y biomecánicos (Beneke & Taylor, 2010; Eriksen, Kristiansen, Langangen, y Wehus, 2009; Čoh, Hébert, Štuhec, Babić y Supej 2018; Čoh 2019), también analizando características antropométricas (Marchall, 2004; Charles & Bejan, 2009). Además se ha intentado calcular el potencial de Bolt (Eriksen, et al., 2009), con un consenso general de que podía haber corrido por debajo de 9.5 s si solamente su tiempo de reacción hubiera sido mejor y bajo condiciones ambientales óptimas (velocidad del viento y altura del lugar). Sin embargo, en la actualidad son insuficientes los abordajes didácticos para la introducción de estas problemáticas en los cursos de física para la formación de profesores. Las condiciones contemporáneas exigen nuevas habilidades profesionales en el profesor de física para dirigir eficientemente procesos de enseñanza y aprendizajes activos, innovadores e integrales, generando formas fundamentadas e interdisciplinarias de pensar y actuar en sus educandos.

El vigente récord del mundo de Bolt en los 100 m planos es de 9.58 s, un formidable registro que sigue abriendo diferentes interrogantes acerca de: *¿Qué condiciones físicas de Usain Bolt le permitieron implantar este récord? ¿Cómo describir el movimiento mecánico de Usain Bolt? ¿Qué factores determinaron que Usain Bolt implantara este récord mundial? ¿Cómo se comportó su velocidad durante toda la carrera y cuál fue su máxima velocidad? ¿Cómo se comporta la aceleración de Usain Bolt? ¿Qué energía y potencia mecánica posibilitaron establecer este espectacular récord mundial?*

El objetivo de este artículo es mostrar las potencialidades didácticas del uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) para elevar el aprendizaje conceptual, procedimental y actitudinal en los estudiantes, a través del estudio cinemático, dinámico y energético del récord mundial de 100 metros planos impuesto por Usain Bolt. Esta nueva redimensión de los aprendizajes contribuye a mejorar la apropiación por los estudiantes de habituales conceptos físicos fundamentales como velocidad media e instantánea, aceleración media e instantánea, fuerza resultante, fuerza de resistencia del aire, impulso de una fuerza, energía y potencia a luz de un movimiento real de marcado interés entre los estudiantes. El uso de las TIC con una orientación cultural y humanista, favorece el aprendizaje significativo, colaborativo, crítico y creativo de los estudiantes. La creación e interpretación de modelos y la experimentación, el uso de métodos numéricos, el análisis de videos, emisión y contrastación de hipótesis, proponer varias estrategias de resolución, el análisis crítico de la resolución y las implicaciones sociales, ético-morales de los resultados son algunos de los relevantes aprendizajes en que se involucran e interiorizan los estudiantes. La integración de contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales en la resolución de problemas del mundo real propicia la participación activa de los estudiantes en su autoevaluación y en la toma consciente de decisiones fundamentadas ante situaciones de su contexto (Quintanilla, 2012; Conner y Sliwka, 2014; Kayumova y Tippins, 2016).

II. MARCO TEÓRICO, METODOLÓGICO Y DISEÑO EXPERIMENTAL

En los últimos años, las tendencias en la didáctica de la física convergen en impulsar el papel activo de los estudiantes en la resolución de problemas, ponderando la interiorización de aspectos distintivos de la actividad investigadora actual bajo denominaciones como aprendizaje por indagación (Furtak 2006; Zion, Cohen y Amir 2007) o la resolución de problemas como investigación dirigida (Gil, Sigfredo, Valdés, 2005; Vilches y Gil, 2007). Las investigaciones sobre la introducción y eficiente integración de las TIC en la enseñanza y aprendizaje de la física se intensificaron desde finales del siglo pasado hasta nuestros días, sustentadas en diferentes concepciones didácticas (Redish 1993; Ariza y Quesada, 2014; Velasco y Buteler, 2017) y focalizadas en aspectos puntuales del contenido e insuficiente atención a la apropiación sistémica de aspectos cognitivos, procedimentales y actitudinales. Esta investigación se fundamenta en la imprescindible orientación cultural y humanista de la enseñanza de la física, que direcciona el empleo de las TIC en el proceso educativo. Las ideas principales de esta concepción didáctica son: 1) la orientación sociocultural del proceso; 2) reflejar los aspectos distintivos de la actividad investigadora actual, como el uso de las TIC en la resolución de problemas (Valdés y Valdés, 1999; Valdés, Fundora, Pedroso, Moltó, Pérez; 2002); 3) atender las características psicopedagógicas del aprendizaje; 4) considerar el enfoque interdisciplinario en la enseñanza y aprendizaje de la física.

La pregunta que guía la investigación es la siguiente: ¿Cómo potenciar los aprendizajes conceptuales, procedimentales y actitudinales con el uso de las TIC en la formación inicial de profesores de física?

En nuestros días, fundamentos psicopedagógicos y científicos avalan la necesidad de atender armónicamente las dimensiones cognitivas, procedimental-estratégica y actitudinal-valorativa (Pozo, 2006; Duschl, 2008; Vásquez y Manassero, 2009; Hodson, 2014) del contenido de aprendizaje del profesor de física en formación.

La secuencia didáctica y metodología empleada en grupos de profesores de física en formación, reveló la importancia de erradicar la enseñanza de problemas descontextualizados e irrelevantes para los estudiantes (Meltzer y Otero, 2014; Hernández, Couso y Pintó, 2015; Martínez-Torregrosa, Alemany, Blanco, Cubero y Cintas, 2016). Se expone la experiencia realizada con una muestra de 28 estudiantes que se forman como profesores de física donde se aplicaron diferentes métodos teóricos, empíricos y estadísticos para identificar y evaluar dimensiones e indicadores del aprendizaje asociados a la resolución de problemas con métodos numéricos empleando recursos informáticos. El preexperimento se realizó con estudiantes de segundo año en las asignaturas de Mecánica y TIC y Resolución de Problemas. En el diseño experimental se aplicaron diferentes instrumentos y análisis estadísticos descriptivos e inferenciales (pretest, posttest) para valorar los resultados en el aprendizaje en el grupo seleccionado. Se diseñaron tres etapas en la investigación: a) diagnóstico integral de la resolución de problemas con el ordenador; b) planificación, diseño y ejecución de problemas con métodos numéricos y su concepción didáctica; c) control, evaluación y retroalimentación. Los resultados obtenidos en estos grupos docentes demuestran la importancia de implementar estrategias de enseñanza y aprendizajes para que los estudiantes sean capaces de formular y resolver problemas del contexto en que viven con el uso de las TIC, considerando las interacciones entre la física, el deporte, la tecnología y la sociedad (Díaz y Jiménez-Liso, 2012; Waight y Abd-El-Khalick, 2018). El análisis de las relaciones entre la física, los fundamentos de este deporte y su contribución para mejorar el rendimiento de los atletas, permite consolidar un enfoque interdisciplinario en la resolución de problemas y la formación cultural integral de estudiantes y futuros profesores (Lakshmanan, Heath, Perlmutter y Elder, 2011; Deanna, 2012; Pérez y Sánchez 2015; Parker, Styliniski, Bonney, Schillaci y McAuliffe, 2015).

La actualización de los contenidos de la física entraña diferentes dimensiones, desde la introducción de temáticas sobre descubrimientos y aplicaciones recientes hasta la modernización de tradicionales métodos y formas de trabajo en el proceso docente. En este sentido, tradicionales conceptos como el movimiento rectilíneo uniforme, el movimiento rectilíneo con aceleración constante, velocidad media e instantánea, entre otros, pueden ser aprendidos con nuevos métodos y estrategias productivas y participativas. Un enfoque didáctico coherente del uso de las TIC en la formación de docentes y en la enseñanza media permite el empleo de métodos numéricos (Guisasola, Barragüés, Valdés y Pedroso, 1999; Buzzo, 2007; Cassan y Rosolio, 2018) para la solución aproximada de ecuaciones diferenciales con complejas o insolubles soluciones analíticas. Para los profesores de física en formación es vital conocer las potencialidades didácticas del uso de las TIC para la resolución de problemas de interés social y profesional.

La estructuración didáctica del estudio del récord del mundo en 100 metros planos debe comenzar solicitando a los estudiantes que expliquen la importancia del estudio del récord de Usain Bolt a través de su propia experiencia. Esto sienta las bases para expresar la significatividad y relevancia de la problemática objeto de estudio para los estudiantes y su visión del tema de acuerdo a sus experiencias personales. Los estudiantes plantean sus primeras hipótesis y concepciones alternativas ante la interrogante: ¿Qué tipo de movimiento realiza Usain Bolt en la carrera de 100 metros planos? La mayoría de las hipótesis se agrupan en considerar: 1) el movimiento acelerado y después desacelerado, 2) movimiento acelerado y celeridad constante; 3) el movimiento es acelerado en los inicios de la carrera,

después es rectilíneo y uniforme y posteriormente es un movimiento retardado. Durante la resolución de este problema se visualizan las interrelaciones entre conceptos transversales como sistema, interacciones, cambios, valoración, que permiten una estructuración coherente de los contenidos de enseñanza y aprendizaje en la física.

TABLA I. Conceptos generales transversales.

Sistemas	Interacciones	Cambios	Valoración
Atleta	Atleta-tierra; Atleta-aire; Atleta-suelo	Cambios de posición, cambios de velocidad, aceleración, fuerza, energía. potencia	Récord. Actitud de atletas, fraude para estimular rendimiento, implicaciones de la ciencia y la tecnología

Esto permite estructurar la enseñanza y aprendizaje de los conceptos, sus relaciones, transferencia a situaciones de la vida y los procedimientos que vinculan su formación en la resolución de problemas. Las valoraciones incluyen las implicaciones de la tecnología en el uso de los equipos, medicamentos, drogas, dispositivos e instrumentos para la determinación de posición, tiempo, fuerza con cámaras de alta resolución, pistolas radar de láser y plataformas con sensores de fuerza.

A. Metodología en la formación de conceptos y secuencia didáctica en la resolución de problemas

La formación de conceptos en la resolución del problema sigue las siguientes etapas: 1) Considerar la experiencia previa, estructura conceptual previa de los estudiantes y su motivación para asimilar un nuevo concepto; 2) creación o formulación de la situación problemática que demanda la introducción del nuevo concepto y su importancia; 3) identificar las características o propiedades distintivas del concepto; 4) definición del concepto; 5) relación del concepto con otros conceptos conocidos, generalización del concepto; 6) fijación, transferencia y significatividad del concepto en diferentes contextos del mundo real.

La secuencia didáctica para la introducción de los métodos numéricos y la resolución de problemas considera esenciales los aspectos siguientes: análisis cualitativo de la problemática e importancia del problema, emisión de hipótesis, construcción del modelo físico-matemático, operacionalización de la hipótesis en expresiones matemáticas, análisis de la relación de conceptos y leyes físicas, construcción del modelo conceptual, estrategia de solución numérica en el ordenador, análisis de procedimientos a implementar en el ordenador.

En cuanto al modelo procedimental, con el método numérico empleado se desarrollan las habilidades: identificación de variables, contantes e intervalo de iteración; representación del modelo conceptual y procedimental; despliegue del método en una hoja de cálculo; introducción de fórmulas para el movimiento con aceleración constante en cada columna, interpretación de resultados obtenidos en forma tabular, construcción e interpretación de gráficos, contrastación de hipótesis, comparación de la data experimental con el modelo teórico elaborado, análisis de resultados, limitaciones del modelo elaborado, análisis metacognitivo de la resolución del problema y formulación de nuevos problemas.

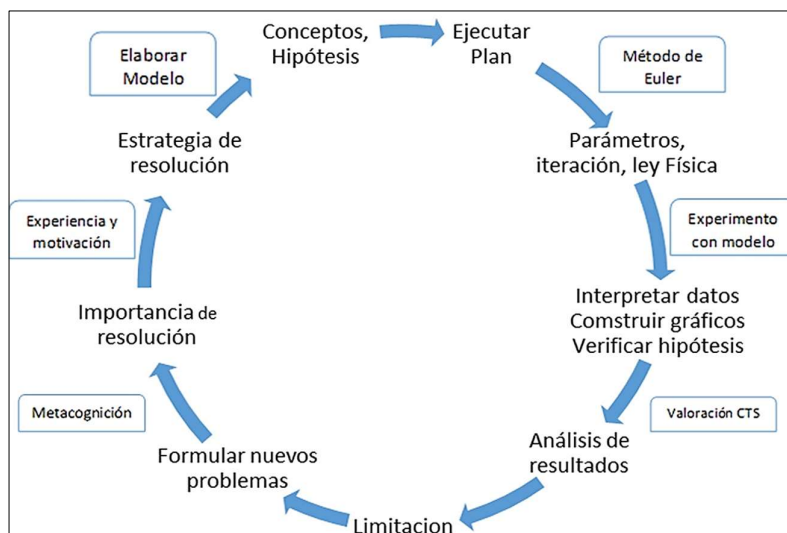


FIGURA 1. Metodología empleada en la resolución de problemas con métodos numéricos.

Durante el análisis cualitativo del problema los estudiantes comienzan a elaborar el modelo físico y matemático para el movimiento de Bolt en la carrera. El profesor discute con los estudiantes los métodos técnicos modernos que posibilitan el registro del tiempo de Usain Bolt cada 10 metros de la carrera. Estos registros experimentales se muestran en una tabla que permite su análisis. Se proponen estrategias de solución a partir del análisis detallado y exhaustivo de la tabla de posición en función del tiempo y además se propone la construcción e interpretación física del gráfico de posición en función del tiempo y analizar sus pendientes en cada tramo de 10 metros de la carrera.

En otro equipo de estudiantes se propone el cálculo de las velocidades medias cada 10 metros de la carrera y construir el gráfico de velocidad media en función del tiempo. El gráfico de velocidad media permite analizar los intervalos de tiempo en que la velocidad aumenta, disminuye o permanece aproximadamente constante y contrastar sus hipótesis iniciales. Después de analizar este gráfico de velocidad media en función del tiempo, existe un mayor consenso entre los estudiantes sobre tres tipos de movimiento que se realiza en la carrera de 100 metros planos. Parcialmente se concluye que la carrera consta de tres fases: una fase donde predomina el movimiento acelerado (aumenta el valor de velocidad con el tiempo), una segunda fase donde la velocidad del atleta permanece aproximadamente constante y una última fase donde la velocidad del atleta disminuye en el transcurso del tiempo hasta llegar a la meta.

No obstante estas conclusiones preliminares, el profesor orienta el análisis y debate sobre la necesidad de seguir investigando ya que la velocidad media no ofrece toda la información sobre la velocidad del atleta en cada instante de la carrera y los estudiantes desean conocer cómo determinar el valor de la velocidad máxima alcanzada por Usain Bolt al implantar su récord del mundo. Es aquí donde se precisan las definiciones de los conceptos velocidad media e instantánea, aceleración media e instantánea y las diferencias entre desplazamiento y posición.

Para determinar la velocidad instantánea se puede aplicar el método de los mínimos cuadrados y determinar la ecuación que mejor ajusta los datos experimentales de posición y tiempo de la carrera. Después se aplica la derivación numérica para obtener una solución numérica de la velocidad instantánea considerando pequeños intervalos de tiempo. Esta variante de solución introduce una mayor margen de incertidumbre en los resultados de la velocidad y no es factible ni asequible su tratamiento en los cursos de Física de la escuela media.

B. Análisis dinámico y energético del récord del mundo de 100 m planos por Usain Bolt

La necesidad de determinar la velocidad instantánea durante toda la carrera conlleva estudiar los factores dinámicos y energéticos que determinan las características del movimiento mecánico del corredor de 100 metros planos. La construcción del modelo dinámico se inicia con el análisis de las fuerzas que actúan sobre Usain Bolt a través de sus interacciones con la pista, el aire y la Tierra. De acuerdo con este análisis sobre el atleta al inicio de la carrera actúa la fuerza que le ejercen los bloques de arrancada y la fuerza de gravedad. Una vez que se pone en movimiento y abandona los bloques de arrancada, sobre el corredor actúan la fuerza que le ejerce el suelo, la fuerza de gravedad y la fuerza de resistencia del aire. La fuerza que le ejerce el atleta al suelo es igual en módulo y dirección a la fuerza que le ejerce el suelo al atleta de acuerdo a la tercera Ley del movimiento de Newton.

Una componente de la fuerza resultante en la dirección horizontal se ejerce por el suelo sobre el atleta determinando la fuerza de propulsión del atleta que acelera su centro de masa en la dirección de su movimiento. Con los estudiantes se analiza la consideración de que la fuerza propulsora se mantiene casi constante durante toda la carrera según el modelo de los investigadores (Gómez, Marquina y Gómez, 2013). La fuerza de resistencia del aire depende de las características del cuerpo (velocidad, forma, área que enfrenta el aire) y de las características de este fluido (viscosidad, densidad del aire). En este modelo se considera que la resistencia del aire tiene la forma:

$$R = Av + Bv^2 \quad (1)$$

Donde se asume que, $A = 59,7$ y $B = 0,6$ son constantes dentro del rango que se estudia (Gómez, Marquina, Gómez 2013). Al aplicar la segunda ley de Newton en el corredor obtenemos:

$$ma = F_o - Av - Bv^2 \quad (2)$$

El valor de la aceleración del atleta varía en el tiempo según la ecuación:

$$a = \frac{F_o - Av - Bv^2}{m} \quad (3)$$

El análisis físico de esta ecuación por los estudiantes permite anticipar el comportamiento de la etapa de aceleración donde predomina la fuerza propulsora en los inicios de la carrera y un aumento progresivo de la velocidad instantánea. A medida que la velocidad del atleta se incrementa, la resistencia del aire aumenta, cuando la resistencia del aire tiene igual valor que la fuerza de propulsión, la fuerza y aceleración resultante del atleta se hacen igual a cero y la velocidad permanece constante cierto intervalo de tiempo. Cuando la fuerza propulsora disminuye y se hace menor que la resistencia del aire, la velocidad del atleta disminuye como se constata en el final de la carrera.

Estamos en presencia de un movimiento rectilíneo con aceleración variable, donde la solución analítica de la ecuación diferencial se analiza con los profesores de física en formación. Sin embargo, es interesante discutir con los profesores la estrategia para introducir y discutir este problema con estudiantes de la enseñanza media. En este caso se propone aplicar el método de Euler para hallar una solución aproximada de la ecuación que rige el movimiento del atleta. Con los estudiantes se analiza la conveniencia de dividir el tiempo de la carrera de 100 metros en intervalos de tiempo lo suficientemente pequeños para considerar que la aceleración permanece constante en este intervalo de tiempo. De esta forma, en cada pequeño intervalo de tiempo se pueden aplicar las ecuaciones para el movimiento uniformemente variado, donde se obtienen los valores instantáneos de aceleración, velocidad y posición del deportista.

Para el instante inicial ($t = 0$) la posición del corredor y su velocidad inicial son iguales a cero. La aceleración inicial en este instante es:

$$a = \frac{F_o}{m} = 9,5 \frac{m}{s^2} \tag{4}$$

En el primer intervalo de tiempo pequeño (dt) se calcula la velocidad y posición final en el intervalo con aceleración constante mediante las ecuaciones:

$$v = v_o + a_o \cdot dt \tag{5}$$

y

$$x_1 = x_o + 0,5 \cdot (v_1 + v_o) \cdot dt \tag{6}$$

El algoritmo para todos los intervalos de tiempo se implementa en una hoja de cálculo (*Microsoft Excel 2012, Origin (Pro)*. ("Version 8"), de OriginLab Corporation). Los estudiantes proponen determinar la fuerza resultante, el impulso de la fuerza resultante, la energía cinética y la potencia desarrollada por Usain Bolt durante la carrera. Es importante destacar como la implementación en la hoja de cálculo favorece la organización e interpretación de los datos por los estudiantes, la construcción de gráficos y el trabajo con la representación mental de los conceptos físicos y matemáticos. En ese mismo orden de relevancia, las habilidades en la formación de conceptos y en la resolución de problemas reales interdisciplinarios contribuyen a la formación axiológica y educativa de los futuros profesores de física.

En la figura 2 se muestra una sección de la tabla con la implementación del método numérico de Euler para un intervalo de tiempo $dt = 0,01$ s y algunos resultados importantes.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	t	a	v	x	Fres	Pinst		Definición	
3	0	9,4860465	0	0	815,8	0		dt	0,01
4	0,01	9,4201329	0,0948605	0,0004743	810,13143	76,849444		A0	110
5	0,02	9,3545531	0,1890618	0,0018939	804,49156	152,09862		B0	12,2
6	0,03	9,2893072	0,2826073	0,0042523	798,88042	225,76946		k0	0,9
7	0,04	9,2243957	0,3755004	0,0075428	793,29803	297,88372		FO	815,8
8	0,05	9,1598185	0,4677444	0,011759	787,74439	368,46299		calculo	425,00327
9	0,06	9,095576	0,5593425	0,0168945	782,21953	437,52866		c0	59,7
10	0,07	9,0316681	0,6502983	0,0229427	776,72346	505,10194		c0f	0,6
11	0,08	8,9680951	0,740615	0,0298972	771,25618	571,20388		masa	86
12	0,09	8,904857	0,8302959	0,0377518	765,8177	635,85532		v0	0

FIGURA 2. Sección de la hoja de cálculo donde el estudiante implementa el modelo matemático-físico.

Los estudiantes bajo la orientación del profesor y un sistema de preguntas analizan detenidamente los resultados de la tabla, determinando el comportamiento de la aceleración, velocidad y posición en función del tiempo así como el instante y posición en que se alcanzan los máximos valores de velocidad instantánea, aceleración y fuerza resultante

horizontal sobre Usain Bolt durante la carrera. Cada estudiante es capaz de construir gráficos de posición y velocidad en función del tiempo, analizan el gráfico de velocidad en función del tiempo, contrastan los resultados del modelo con las mediciones experimentales de la carrera y determinan el instante de tiempo y posición en que se alcanza la máxima velocidad por Usain Bolt.

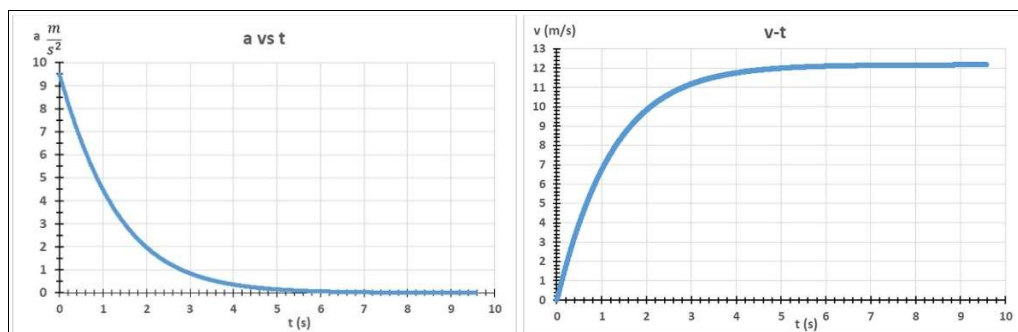


FIGURA 3. Gráficos de aceleración y velocidad en función del tiempo como resultado de la implementación del método de Euler en la hoja de cálculo.

El valor de la velocidad máxima del atleta es analizado en varias unidades de medida para clarificar la dimensión del valor registrado. El modelo elaborado es contrastado por los estudiantes con los datos experimentales que se obtuvieron en el Campeonato Mundial de Atletismo Berlín 2009 (Graubner y Nixdorf, 2011).

TABLA II. Valores máximos de velocidad, aceleración, fuerza y potencia en la carrera.

v_m	a_m	F_{max}	P_{max}
12.2 m/s	9.5 m/s ²	815 N	2619.5 W

Se discuten otros métodos para determinar la velocidad máxima en la carrera experimentalmente al medir la longitud del paso o zancada de Usain Bolt y la frecuencia de esta zancada analizando el video de la carrera. Los valores obtenidos se emplean para evaluar el modelo teórico empleado y las posibles fuentes de incertidumbre en los valores determinados por el método numérico.

La evaluación de los valores de fuerza que se ejercen sobre Usain Bolt permite al profesor abrir el debate con los estudiantes sobre la magnitud de la fuerza que se ejerce por atleta y la importancia del tiempo de contacto de sus pies con el suelo. Una fuerza de alto valor en un corto instante de tiempo genera el apropiado impulso para aumentar la velocidad horizontal del corredor. Recordamos que el área bajo la curva del gráfico de fuerza en función del tiempo es numéricamente igual al impulso de la fuerza durante la carrera.

Desde el punto de vista cinemático y dinámico se verifica como la aceleración máxima inicial del atleta va disminuyendo en el tiempo a medida que aumenta la fuerza de resistencia del aire en la fase de aceleración y después la velocidad del corredor permanece aproximadamente constante al igualarse las magnitudes de la fuerza propulsora y la fuerza de resistencia del aire. En este intervalo de tiempo la fuerza resultante horizontal y la aceleración de Bolt son iguales a cero.

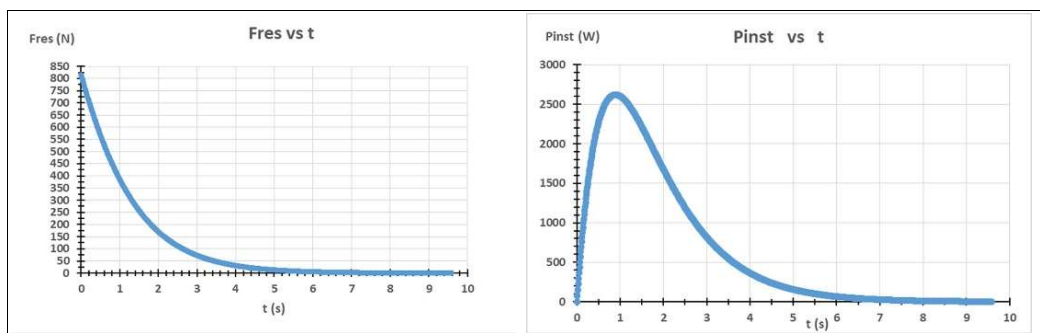


FIGURA 4. Gráficos de fuerza resultante y potencia mecánica instantánea desarrollada por Usain Bolt.

El análisis energético de la carrera por los estudiantes tiene en cuenta los valores de la energía cinética del atleta y energía potencial, considerando la altura que alcanza el centro de masa del atleta durante la carrera. Además, los estudiantes determinan la potencia desarrollada por Bolt en la carrera y su valor máximo interpretando el gráfico de fuerza en función del tiempo y multiplicando los valores instantáneos de fuerza y velocidad. Considerando el área bajo la curva en el gráfico de fuerza resultante en función de los desplazamientos realizados por el atleta se determina el valor del trabajo mecánico realizado. El profesor debe destacar las transferencias energéticas que ocurren y la rapidez de esa transferencia, a través de las interacciones del atleta. Estamos en presencia fundamentalmente de procesos anaerobios en el organismo que necesitan generar energía para garantizar altos valores de fuerza contra el suelo en cortos intervalos de tiempo y avanzar contra la resistencia del aire. Es interesante analizar los valores de potencia mecánica por masa corporal del atleta en cada instante de la carrera. El valor máximo de potencia por masa corporal obtenido debe ser interpretado por los estudiantes a partir de los valores de aceleración y velocidad del Bolt para implantar el récord del mundo.

Implicaciones didácticas del uso de métodos numéricos en la resolución de problemas de física con las TIC:

- Propicia en la resolución de problemas docentes el uso de métodos, procedimientos y estrategias productivas que distinguen la actividad investigadora contemporánea.
- Favorece la introducción en los currículos escolares de problemáticas interesantes del mundo real.
- Contribuye a elaborar e interpretar modelos físicos y matemáticos de fenómenos y procesos de su contexto.
- Potencia la eficiente formación de conceptos físicos en los estudiantes, considerando su generalización y transferencia a situaciones contextualizadas de la sociedad.
- Intensifica el desarrollo de habilidades para la emisión y contrastación de hipótesis, pronósticos con modelos y su validación con datos experimentales.
- Genera procesos de interacción entre los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales durante la resolución de problemáticas de interés social y personal.

A través de la resolución del problema, los estudiantes se involucran en un ambiente de discusión, argumentación y análisis crítico basado en teorías, leyes, principios científicos y de la física. La preparación de los profesores de física para enfrentar los desafíos de la educación científico-tecnológica contemporánea tiene una trascendental importancia en la sociedad actual. El desarrollo de habilidades, capacidades y valores, para dirigir con calidad el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física en la enseñanza media, necesita una especial atención en los currículos de formación docente. La actualización de la metodología en la formación de conceptos y la resolución de problemas del mundo real con el ordenador, deben evidenciarse con la organización y planificación de situaciones de aprendizaje para los estudiantes en correspondencia con las actuales exigencias educativas y culturales.

III. PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS Y SU EVALUACIÓN

Al implementar las secuencias didácticas diseñadas para la resolución de los problemas de interés con el uso de recursos informáticos, se focalizó el análisis y evaluación en los aprendizajes conceptuales, metodológicos y actitudinales de los futuros profesores. La formación de conceptos, el desarrollo de habilidades para la resolución de problemas con el ordenador y la consolidación de actitudes, valores, normas de conducta se examinan en el desempeño de los estudiantes a través de pruebas pedagógicas y el trabajo en clases. Las dimensiones e indicadores reflejados en la tabla III favorecieron la valoración sobre la asimilación e interiorización de los diferentes contenidos y la identificación de las limitaciones o aspectos menos logrados en el aprendizaje de los estudiantes.

Tabla III. Dimensiones e indicadores del aprendizaje

Conceptual	Procedimental-Estratégica	Actitudinal-Valorativa
Definir conceptos y leyes	Argumentar importancia de resolución	Valoración ético-moral de problemáticas
Relacionar conceptos	Emisión de hipótesis	Valoración del empleo de la tecnología
Aplicar conceptos y leyes	Construcción del modelo teórico	Valoración de actitudes de atletas
Generalizar	Implementación del método numérico	Responsabilidad ante situaciones
	Empleo de estrategias cognitivas	Valoración de la actitud de otros estudiantes
	Interpretación de resultados	Actitudes autocríticas en cada contexto
	Construcción e interpretación de gráficos	
	Análisis metacognitivos	
	Limitaciones e implicaciones del modelo	
	Análisis crítico de los resultados	

Al evaluar los indicadores de la formación de conceptos con cuestionarios y pruebas pedagógicas se focaliza el aprendizaje en la reestructuración del sistema conceptual asentado en la estructura cognitiva de cada estudiante mediado por su experiencia y la inclusión de los nuevos conceptos. En cada uno de los instrumentos aplicados y en las interacciones didácticas en la dirección de la resolución de problemas se atienden las concepciones alternativas al concepto científico que poseen los estudiantes.

En la tabla IV se muestra los resultados de las evaluaciones a los diferentes indicadores en cuanto al porcentaje en cada categoría, la media y desviación estándar.

Tabla IV. Resultados de los indicadores sobre la formación de conceptos

Conceptos	N	Bien (1)	Regular (2)	Mal (3)	Media	DS
Define	28	78,57%	14,29%	7,14%	1,28571	0,589015
Relaciona	28	67,86%	21,43%	10,71%	1,42857	0,677631
Generaliza	28	60,71%	25,00%	14,29%	1,53571	0,731053
Aplica	28	57,14%	28,57%	14,29%	1,57143	0,728431

En la figura 5 se representan gráficamente los resultados de las indagaciones sobre la formación de conceptos y sus implicaciones para la resolución de problemas de física en sus aspectos asociativos, aplicativos y generalizables como parte del ciclo de introducir nuevos conceptos y la gradual transferencia del concepto teórico a diferentes contextos y situaciones de la vida real. Estos aspectos conllevan a una rigurosa secuencia metodológica para la formación del concepto y sus enriquecedoras aplicaciones en la práctica. No hay dudas que una de las causas fundamentales en el fracaso en la resolución de problemas en los estudiantes es la deficiente formación del sistema conceptual requerido para enfrentar y superar situaciones problemáticas.

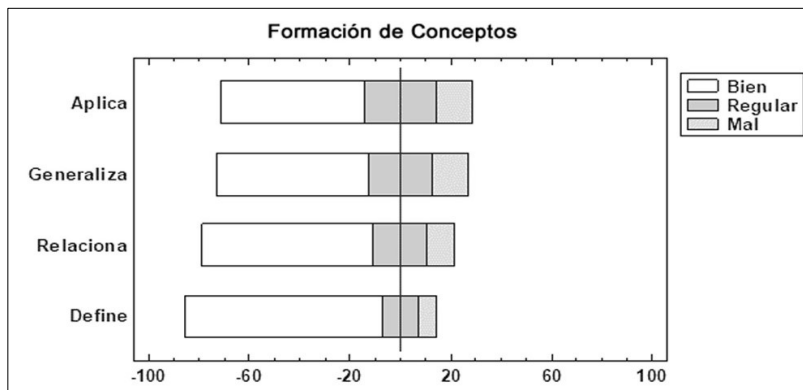


FIGURA 5. Evaluación y análisis de resultados de los indicadores de la formación de conceptos.

El estudio realizado evidencia la importancia de la formación conceptual para la efectiva resolución de problemas de física. En la tabla V se muestran los resultados de las pruebas sobre conceptos al aplicar la prueba de rangos con signos de Wilcoxon y otras pruebas de hipótesis, validándose los progresos obtenidos en los estudiantes en cuanto al aprendizaje de conceptos ($Z=-4.626$; $p=0.000$) con muy buena significatividad estadística (alfa igual a 0.005)

TABLA V. Dimensión conceptual: resultados pretest y postest.

PF-PI	N	Z	p	t	Chi cuadrado
Rangos Negativos	0 ^a	-4.626 ^b	0.000	21.9255	2331.0
Rangos Positivos	28 ^b				
Empates	0 ^c				
Total N	28				
a. PF < PI	PI: Prueba Inicial PF: Prueba Final				
b. PF > PI					
c. PF = PI					

En la tabla IV y figura se puede apreciar que las mayores dificultades en algunos estudiantes persisten en las habilidades para aplicar y generalizar los conceptos involucrados en la resolución del problema. Aunque la mayoría de los estudiantes muestran un notable progreso en las definiciones de conceptos, leyes y las relaciones con el sistema conceptual antecedente, se detentan limitaciones en la diferencia entre los conceptos de velocidad media e instantánea, así como energía y potencia.

La validación de las dimensiones del aprendizaje referidas al componente procedimental-estratégico y actitudinal-valorativo se realizó atendiendo a las mediciones de cada uno de sus indicadores cuyos principales resultados se sintetizan la tabla VI. Se constata avances en el aprendizaje procedimental y estratégico de los estudiantes mediados por el uso de las TIC, resaltándose la importancia de la contextualización de los problemas en la motivación de los estudiantes para acometer, buscar las vías de solución e interpretar los resultados. Se verifica estadísticamente ($Z = -4.624$, $p = 0.000$) la diferencia significativa entre los resultados de las pruebas pedagógicas y control del desempeño en la resolución de problemas de interés sociocultural y personal.

TABLA VI. Dimensiones procedimental-estratégica y actitudinal-valorativa.

Dimensiones a evaluar	Postest-Pretest (PF-PI)		Z	t	Chi cuadrado	p
Metodología de la resolución de problemas con el ordenador	Rangos Negativos	0 ^a	-4.624	-10.811	4615.71	0.000
	Rangos Positivos	28 ^b				
	Empates	0 ^c				
Actitudes y valores	Rangos Negativos	0 ^a	-4.623	-11.107	5333.0	0.000
	Rangos Positivos	28 ^b				
	Empates	0 ^c				

El desarrollo de las habilidades alcanzado por los estudiantes en la elaboración de modelos, el uso de métodos numéricos y estrategias productivas, la construcción e interpretación de gráficos y datos experimentales, análisis crítico de la labor realizada, la valoración ético-morales de hechos y problemáticas asociadas al deporte y otras esferas socioculturales, científicas, educativas, entre otras. El debate ético y científico sobre el consumo de sustancias prohibidas por los atletas para aumentar su rendimiento deportivo y otros tópicos estimularon el interés de los estudiantes por profundizar en contenidos de física, otras ciencias, la tecnología y sus implicaciones socioculturales.

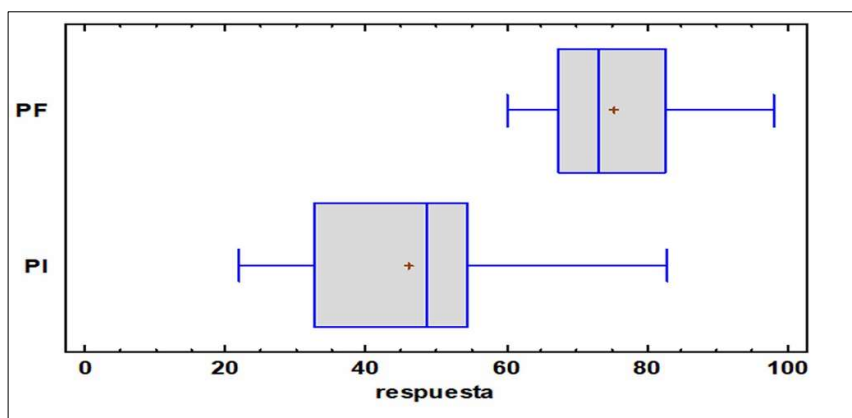


FIGURA 6. Resultados y análisis cualitativo de las pruebas inicial y final en las dimensiones procedimental y actitudinal del aprendizaje de los estudiantes donde se resalta la media y la mediana de las notas en cada evaluación.

En la figura se distingue el incremento en la calidad de las notas en las evaluaciones realizadas en el preexperimento, evidenciándose un significativo desarrollo de habilidades en la resolución de problemas de física y las potencialidades didácticas de la introducción de los métodos numéricos para el eficiente aprendizaje integral de los profesores en formación inicial.

IV. CONCLUSIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La actual enseñanza de la física en la formación de profesores debe propiciar aprendizajes acordes con las características de la ciencia, estudiantes, cultura general y la sociedad actual, para elevar la motivación por el estudio de esta asignatura en las jóvenes generaciones. El uso eficiente de las TIC con un enfoque cultural y humanista potencia aprendizajes conceptuales, procedimentales y actitudinales en los estudiantes considerando áreas de mucho interés y motivación como la relación de la física y el deporte. En esta investigación, se revelan los resultados obtenidos en el aprendizaje de futuros profesores de física a través del estudio del actual récord mundial impuesto por Usain Bolt en los 100 metros planos.

Los estudiantes se enfrentan a la solución de una problemática de interés sociocultural, se estimulan por conocer y explicar los fundamentos cinemáticos, dinámicos y energéticos del rendimiento del hombre más rápido del mundo. Al resolver este problema con un carácter investigativo permite que los estudiantes aprendan a formular interrogantes, elaborar y experimentar con modelos físico-matemáticos, emplear métodos numéricos con medios informáticos, emitir y contrastar hipótesis, analizan resultados y sus implicaciones ético-morales y socioculturales. En un ambiente de discusión científica, los estudiantes interiorizan y redimensionan conceptos físicos como velocidad, aceleración, fuerza, energía, potencia para explicar las características de la carrera con datos reales aportados por especialistas científicos. Se muestra como se debe reflejar en la educación en física rasgos esenciales que distinguen la investigación científica contemporánea y su introducción en la enseñanza media.

Es muy valioso el análisis crítico que realizan los estudiantes sobre las limitaciones del modelo elaborado y el método numérico empleado. En cuanto al modelo se necesita profundizar en la hipótesis de que la fuerza propulsora es constante en la carrera, los valores de los coeficientes que caracterizan la resistencia del aire, evidenciar la etapa de desaceleración del atleta en los valores de aceleración y fuerza resultante, la rapidez de transferencia energética del atleta durante la carrera, entre otros importantes aspectos. Todo esto conlleva a los estudiantes a reflexionar sobre los modelos, sus características y funciones para explicar una situación real que se muestra más compleja en todos sus ámbitos. El profesor ofrece a los estudiantes la posibilidad de valorar diferentes modelos elaborados por científicos e investigadores para intentar describir el movimiento del atleta en una carrera de 100 m planos. Esto pondera una nueva imagen de la física en los estudiantes más contextualizada, inacabada, interesante y fértil en la generación de nuevas interrogantes y problemas por resolver.

Se constata que el desarrollo de aprendizajes en la estructura cognitiva, metodológica y actitudinal de los futuros profesores de física, se consolidan a través de los nexos interdisciplinarios que se evidencian mediante la resolución de esta problemática. El uso de la tecnología en el deporte y el empleo de sustancias prohibidas por los atletas de esta modalidad para mejorar sus rendimientos son problemáticas transversales a debatir y valorar por los estudiantes como parte del estudio integral que se realiza. Las conexiones e interacciones de la física con otras ciencias, tecnología y ramas de la cultura desde la resolución de problemas de interés, constituyen elementos esenciales en el aprendizaje de esta asignatura en todos los niveles educativos.

REFERENCIAS

Ariza, M. R. y Quesada, A. (2014). Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 101-115

Benarroch, A., Núñez, G. I., (2015) Aprendizaje de competencias científicas versus aprendizaje de contenidos específicos. Una propuesta de evaluación. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(2), 9-27.

Beneke, R. y Taylor, M. J. (2010). What gives Bolt the edge-AV Hill knew it already! *Journal of Biomechanics*, 43(11), 2241-2243.

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.

Buzzo, R. (2007), Estrategia EE (Excel-Euler) en la enseñanza de la física- *Latin-American Journal of Physics Education*, 1(1), 19-23.

Cassan R, Laura R y Rosolio A. (2018). Resultados del uso del cálculo numérico para el aprendizaje de la mecánica elemental. *Revista de Enseñanza de la física*. 30(Extra), 351-358.

- Charles, J.D. y Bejan, A. (2009). The evolution of speed, size and shape in modern athletics. *Journal of Experimental Biology*, 212(15), 2419-2425. doi: 10.1242/jeb.031161.
- Čoh, M. (2019). Usain Bolt: biomechanical model of sprint technique. *Physical Education and Sport*, 17(1), 1-13. doi.org/10.22190/FUPES190304003C
- Čoh, M., Hébert-Losier. K., Štuhec. S., Babić. V. y Supej. M. (2018). Kinematics of Usain Bolt's maximal sprint velocity. *Kinesiology*, 50(2), 172-180. doi.org/10.26582/k.50.2.10
- Coll, R. K., Dahsah, C. y Faikhamta, C. (2010). The influence of educational context on science learning: A cross-national analysis of PISA. *Research in Science & Technological Education*, 28(1), 3-24. <https://doi.org/10.1080/02635140903513532>
- Conner, L. y Sliwka, A. (2014). Implications of Research on Effective Learning Environments for Initial Teacher Education. *European Journal of Education*, 49(2), 165-177. <http://dx.doi.org/10.1111/ejed.12081>
- Deanna, K. (2012). The development of causal reasoning. Wiley interdisciplinary reviews. *Cognitive science*, 3(3). En: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26301465>
- Díaz N., Jiménez-Liso M. R. (2012) Las controversias sociocientíficas: Temáticas e importancia para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 9, 54-70.
- Duschl, R. A. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268–291.
- Eriksen, H.K., Kristiansen, J.R., Langangen, Ø. y Wehus, I.K. (2009). How fast could Usain Bolt have run? A dynamical study. *American Journal of Physics*, 77(3), 224-228.
- Escudero, T. (2016). La investigación evaluativa en el siglo XXI: un instrumento para el desarrollo educativo y social cada vez más relevante. *Relieve*, 22(1), art. 4, 1-21. <http://dx.doi.org/10.7203/relieve.22.1.8164>
- Furtak, E. M. (2006). The problem with answers: An exploration of guided scientific inquiry teaching. *Science Education*, 90(3), 453–467.
- Garritz, A. (2010). La enseñanza de la ciencia en una sociedad con incertidumbre y cambios acelerados. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 0315-326.
- Gil, D., Sigfredo, C., Valdés, P. y Vilches, A. (2005). *¿Cómo promover el interés por la cultura científica?* Santiago: OREALC-UNESCO.
- Gómez, J.H., Marquina, V. y Gómez, R.W. (2013). On the performance of Usain Bolt in the 100 m sprint. *European Journal of Physics*, 34(5), 1227.
- Graubner, R. y Nixdorf, E. (2011). Biomechanical analysis of the sprint and hurdles events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 26(1/2), 19-53.
- Guisasola, J., Barragués, J., Valdés, P., Valdés R y Pedroso F. (1999). Getting students familiar with the use of computers: study of the falling of a body in a fluid. *Physics Education*, 34(4), 214-219.
- Hernández, M. I., Couso, D. y Pintó, R. (2015). Analyzing students' learning progressions throughout a teaching sequence on acoustic properties of materials with a model-based inquiry approach. *Journal of Science Education Technology*, 24(2-3), 356–377.
- Hodson, D. (2014). Learning science, learning about science, doing science: different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534-2553.

Kayumova, S. y Tippins, D. (2016). Toward re-thinking science education in terms of affective practices: reflections from the field. *Cultural Studies of Science Education*, 11(3), 567-575.

Lakshmanan, A., Heath, B. P., Perlmutter, A. y Elder, M. (2011). The impact of science content and professional learning communities on science teaching efficacy and standards-based instruction. *J Res Sci Teach*, 48(5), 534-551.

Leilani A. y Bailey K. (2017) An integrative review of in-class activities that enable active learning in college science classroom settings, *International Journal of Science Education*, 39:15, 2073-2091, doi: 10.1080/09500693.2017.1363925

Maćkała, K. y Mero, A. (2013). A kinematics analysis of three best 100 m performances ever. *Journal of Human Kinetics*, 36, 149-160. doi: 10.2478/hukin-2013-0015.

Marchall, N. (2004). Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 261-70

Martínez-Torregrosa, J., Alemany, F., Blanco, J., Cubero, A. y Cintas, S. (2016). La enseñanza problematizada de la física cuántica en el nivel introductorio. Una propuesta fundamentada. *Revista de Enseñanza de la física*, 28(2), 77-100.

Meltzer, D. y Otero, V. (2014). Transforming the preparation of physics teachers, *Am. J. Phys.* 82, 633.

Nielsen, J. A. (2012) Science in discussions: An analysis of the use of science content in socioscientific discussions. *Science Education* 96, 428-456.

OECD. (2014). *TALIS 2013 Results: An international perspective on teaching and learning*. Paris: OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264196261-en>

Parker, C. E., Stylinski, C. D., Bonney, C. R., Schillaci, R. y McAuliffe, C. (2015). Examining the quality of technology implementation in STEM classrooms: Demonstration of an evaluative framework. *J Res Technol Educ*, 47(2), 105-121

Pérez, A., y Sánchez, R. (2015). La enseñanza de la física General I en la formación de profesores de Matemática-Física. Un enfoque interdisciplinario. *Atenas*, 2(30), 65-77. Disponible en: <http://atenas.mes.edu.cu>

Pozo, J. I. (2006). Las concepciones del aprendizaje ante la nueva cultura educativa. En *Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje* (29-54). Barcelona: Graó

Quintanilla, M. (2012). Investigar y evaluar competencias de pensamiento científico (CPC) en el aula de secundaria. *Alambique*, 70, 66-74.

Sanmartí, N. y Marchán, I. (2015). La educación científica del siglo XXI: retos y propuestas. *Investigación y ciencia*, 469, 30-38.

Solbes, J. (2013). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (I): Introducción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 10(1),1-10.

Thornton, R. K. y Sokoloff D. R. (1998). Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula, *Am. J. Phys.*, 66, 338-352.

Valdés, P. y Valdés, R. (1999). Características del proceso de enseñanza aprendizaje de la física en las condiciones contemporáneas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), 521-531.

Valdés, P., Valdés R., Fundora J., Pedroso F., Moltó E., Pérez Z. (2002). *Enseñanza de la física Elemental*. La Habana: Pueblo y Educación.

Vázquez, A. y Manassero, M.A. (2009). La relevancia de la educación científica: actitudes y valores de los estudiantes relacionados con la ciencia y la tecnología. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(1), 33-48.

Vilches, A. y Gil, D. (2007). La necesaria renovación de la formación del profesorado para una educación científica de calidad. *Tecné, Episteme y Didaxis TED*, 22, 67-85.

Waight, N. y Abd-El-Khalick, F. (2018). Technology, culture and values: Implications for enactment of technological tools in precollege science classrooms. En Y. J. Dori, Z. Mevareach, y D. Baker (Eds.), *Cognition, metacognition and culture in STEM education* (139– 165). New York: Springer.

Zion, M., Cohen, S., y Amir, R. (2007). The spectrum of dynamic inquiry teaching practices. *Research in Science Education*, 37(4), 423–447.

Redish, E. F. (1993). Are computers appropriate for teaching physics? *Computers in Physics*, 7(6), 613. <https://doi.org/10.1063/1.4823227>

Velasco, J., Buteler, L., (2017). Simulaciones computacionales en la enseñanza de la física: una revisión crítica de los últimos años. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(2), 161-178.