Controversias en el tratamiento del movimiento oscilatorio armónico simple en libros de Física del nivel básico universitario

Luis Marino[1], **Silvia Giorgi**[2], **Cristina Cámara**[2,3], **Ricardo Carreri**[2]

[1]*Facultad de Humanidades y Ciencias. Ciudad Universitaria. Paraje El Pozo. 3000. Santa Fe. Argentina.*

[2]*Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional del Litoral. Santiago del Estero 2829. 3000. Santa Fe. Argentina;*

[3]*Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral. 86-Kreder 2805. 3080HOF. Esperanza. Santa Fe. Argentina;*

E-mail: lmarino@fiq.unl.edu.ar

Resumen

Se presenta un estudio sobre libros de texto (LT) de Mecánica en los que se abordan contenidos básicos con cálculo diferencial e integral, cuyos autores se hallan referenciados en los programas analíticos de los cursos de Física que se dictan en las diversas carreras que se imparten en las unidades académicas de la Universidad Nacional del Litoral. Se investigó sobre el tratamiento que dan los autores al tema Movimiento Oscilatorio Armónico Simple y, en particular, si las magnitudes involucradas en el movimiento son presentadas en forma clara de manera de facilitar en los estudiantes la conceptualización del fenómeno. Se encontró que, en algunos casos, los significados físicos atribuidos a la frecuencia angular pueden resultar confusos a los estudiantes que estudian basándose en LT, lo cual obstaculizaría el aprendizaje por parte de los mismos. Se brindan recomendaciones sobre aspectos conceptuales que el docente debería reforzar en el aula.

Palabras clave: Libros de texto, Física Mecánica, Ciclo universitario básico, Movimiento oscilatorio armónico simple, Desarrollo conceptual.

Abstract

A study about textbooks (TB) on Mechanics is presented, in which basic contents with differential and integral calculus are addressed, and whose authors are referenced in the analytical programs of the Physics courses offered in the various degrees provided by the academic units of the Universidad Nacional del Litoral. A research about the developing of the topic Simple Harmonic Oscillatory Movement by the authors was conducted, and, in particular, it was important to elucidate if the magnitudes involved in the movement are clearly presented to facilitate the students' conceptualization of the phenomenon. We found that, in some cases, the meanings attributed to the angular frequency are confusing for those students who base their study on TB, leading to hinder their learning. Recommendations about conceptual aspects the teacher should strengthen in the classroom are provided.

Keywords: Textbooks, Mechanical Physics, University Basic Cycle, Simple harmonic oscillatory movement, Conceptual development.

I. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se investiga si los desarrollos del tema movimiento oscilatorio armónico simple (MOAS) o abreviadamente movimiento armónico simple (MAS), que ciertos autores realizan en los libros de texto, promueven en los estudiantes la conceptualización del fenómeno oscilatorio armónico. Para lograr este objetivo se propuso indagar en libros de Física si, en el tratamiento de los contenidos teóricos relativos al tema, se presentan claramente los significados físicos de las magnitudes y parámetros que describen el movimiento.

La evaluación del presente artículo estuvo a cargo de la organización de la 19 Reunión Nacional de Educación en Física

Se analizaron los capítulos correspondientes a Movimientos Oscilatorio de los libros referenciados en los programas analíticos de los cursos de Física que se dictan en las diversas carreras que se imparten en las unidades académicas de la Universidad Nacional del Litoral y que presentan desarrollos matemáticos que involucran cálculo diferencial e integral al menos en una variable (Giorgi y col., 2013).

Con relación al tópico de interés para este trabajo, la experiencia docente de los autores permite decir que, para los estudiantes que toman un primer contacto con el estudio del MOAS, a la dificultad que implica el manejo de funciones armónicas, que generalmente se estudian recién en un primer curso universitario de Matemática, se suma el hecho que el tratamiento del tema presentado por algunos autores de libros, puede resultar confuso. En particular, se define a una de las magnitudes más representativas de este tipo de movimiento como lo es la frecuencia angular, de manera ambigua. Esto se ve reflejado en la frecuente confusión de los estudiantes entre frecuencia angular y velocidad angular, de la que surge que los mismos no han conceptualizado adecuadamente el fenómeno.

En este trabajo se reflexiona sobre el significado poco claro que los estudiantes podrían construir de ciertas magnitudes fundamentales para el estudio del comportamiento de sistemas físicos oscilantes, cuando basan su aprendizaje en algunos de los libros de texto.

II. MARCO TEÓRICO Y OBJETIVOS

Con relación a los materiales educativos, es de destacar que en la actualidad existe una gran cantidad de material disponible en la red, sin embargo, la calidad de estos materiales no siempre está garantizada (Bouciguez y Santos, 2010). El LT sigue siendo uno de los referentes más sólidos para aprender y se lo considera una herramienta poderosa en las clases de ciencias (Otero, 1990). No obstante, se asume, como lo hacen otros investigadores (Pocoví y Hoyos, 2011; King, 2010), que en algunas ocasiones las presentaciones que los autores de los LT realizan de ciertos contenidos no son lo suficientemente claras para los estudiantes que se inician en el estudio de los fenómenos físicos con cierto grado de rigurosidad matemática.

En este trabajo de investigación se asume la perspectiva de Alexander y Kulicowich (1994) que señalan que se pueden caracterizar a los textos de Física como “bilingües” ya que el lector debe moverse mentalmente entre un sistema simbólico (matemático y científico) y un sistema lingüístico. La explicación en el sistema lingüístico (en palabras) que describe la situación física, no siempre es clara y explícita conllevando a un esfuerzo intelectual sustancial por parte del lector para realizar la “traducción” desde el lenguaje simbólico al lingüístico.

Con relación a lo expresado, se sostiene que es importante analizar si los conceptos físicos son presentados de manera clara por los autores de los LT que se recomiendan a los estudiantes para abordar contenidos de Mecánica básica. Esto resulta decisivo y fundamental, tanto en la selección de los materiales de apoyo que se proponen, como en las clases, si se busca que el alumno aprenda.

En este trabajo se analizan los libros referenciados en los programas analíticos de los cursos de Física que se dictan en las diversas carreras que se imparten en las unidades académicas de la Universidad Nacional del Litoral y que presentan desarrollos matemáticos que involucran cálculo diferencial e integral al menos en una variable (Giorgi y col., 2013).

Se presenta una investigación en la que se plantean los siguientes objetivos con relación a los LT:

- Caracterizar la manera en que los autores de los LT presentan al MOAS.
- Evaluar si los significados físicos atribuidos a la frecuencia angular en el MOAS se muestran de manera clara, desde el punto de vista de la comprensión del tema por parte de los estudiantes del ciclo inicial.

Se parte de la hipótesis consistente en que, en algunos casos, los autores de LT presentan a la frecuencia angular del MOAS de manera confusa, dificultando la construcción de conceptualizaciones apropiadas del fenómeno en los estudiantes que basan su aprendizaje a partir de dichos recursos.

III. METODOLOGÍA

Se trabajó con una muestra intencional de libros de Mecánica de nivel universitario básico con cálculo. Se señala que por razones de espacio no se pudieron abarcar diferentes ediciones de un mismo autor, por lo que se eligió la edición más actual entre las disponibles.

La metodología que se considera más adecuada para lograr los propósitos de este estudio se encuadra en la investigación descriptiva. Se llevó a cabo un estudio de casos (Concari, 2002). La muestra de libros analizada consiste en aquellos recomendados en los planes de estudio de los cursos de Física que se dictan en las distintas carreras de la UNL, que involucran cálculo diferencial e integral al menos en una variable. Se realizó un análisis de contenido (Bardin, 1996) de los capítulos correspondiente al tema

Movimiento Oscilatorio. Se indagó acerca de cómo se presentan los significados físicos de las magnitudes y parámetros, y sus relaciones, involucrados en las leyes del movimiento.

IV. RESULTADOS

En los párrafos siguientes se transcribe una síntesis del análisis realizado. Se mencionan a modo de subtítulos, en primer lugar el/los autores del LT y luego el nombre del texto.

A. Alonso y Finn. Física.

Se analizó el Capítulo 12: Movimiento oscilatorio. En una primera parte (12.2) se aborda el MAS desde la cinemática, presentando la expresión de la posición en función del tiempo correspondiente al movimiento oscilatorio armónico simple de una partícula que se mueve a lo largo del eje x, $x=Asen(\omega t+\alpha)$. Se definen: fase, fase inicial, amplitud y frecuencia angular. Se plantea que la frecuencia angular está relacionada con la frecuencia a través de una expresión similar a la planteada en el estudio del movimiento circular uniforme $\omega=2\pi/P$, siendo P el período del movimiento. Usando ecuaciones de cinemática vistas en el Capítulo 5, se plantean las derivadas primera y segunda para obtener las expresiones de velocidad y aceleración respectivamente, se muestran las gráficas correspondientes.

Luego, se introduce el hecho que el movimiento de una partícula con un MAS puede considerarse como la componente x de un vector que rota alrededor de un punto O en sentido antihorario con velocidad angular constante y formando en todo instante un ángulo $(\omega t+\alpha)$ con el eje negativo de las y, presentando en una gráfica los *"vectores rotantes del desplazamiento, la velocidad y la aceleración en el movimiento armónico simple"*. Posteriormente, se analizan la Fuerza y Energía del MAS (12.3). A partir de la combinación de las ecuaciones obtenidas, se presentan las expresiones relacionadas a la fuerza que debe actuar sobre una partícula para que la misma oscile con un MAS: $F=-m\omega^2x$, $F=-kx$ y $\omega=\sqrt{k/m}$, denominando a k como constante elástica.

Con respecto a las energías, se presenta un análisis teórico y se grafican, para la partícula, la Energía cinética, la Energía potencial a partir de la expresión $F=-dEp/dx$ (Capítulo 8) y la Energía total.

En el ítem siguiente (12.4) se aborda el MAS desde la Dinámica, y se demuestra que si la fuerza actuante es del tipo $F=-kx$ el movimiento resultante es un MAS. Se encuentra la ecuación diferencial y se propone la solución general de la misma.

En los puntos 12.5 y 12.6 se describen desde un punto de vista dinámico los ejemplos del péndulo simple y del péndulo compuesto, respectivamente. En el punto 12.7 se describe la superposición de dos MOAS de igual frecuencia y dirección usando el método de los "vectores rotantes". Luego se describe en 12.8 la superposición de dos MAS de igual dirección pero diferente frecuencia.

B. Bueche. Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería. Tomo 1.

El capítulo analizado es el número 13: El movimiento oscilatorio. En la introducción 13.1 se menciona que *"cualquier sistema que esté sujeto a la ley de Hooke vibrará de manera única y sencilla y se le denomina movimiento armónico simple"*. Se menciona el caso concreto de un resorte. En el punto 13.2, se analiza la terminología usada y en el siguiente punto 13.3 se describe el MAS desde un punto de vista dinámico, presentando la ecuación diferencial para un cuerpo de masa m que se mueve sobre una superficie horizontal sin rozamiento en el extremo de un resorte.

A partir de la gráfica obtenida con el dispositivo de la figura 13.2 (pp. 214), se presenta como solución $x=Asen(\alpha t)+Bsen(\beta t)$ donde A, B, α y β son constantes. Se encuentra que α y β son iguales: $\alpha=\beta=\sqrt{k/m}$. Luego, para obtener los valores a A y B, en el punto 13.4 se analizan las "Condiciones de frontera" obteniendo la expresión $x=Csen(\sqrt{k/m}t+\varphi)$ en la cual las constantes arbitrarias C y φ reemplazan a las anteriores A y B, y se señala que deben determinarse a través de dos condiciones de frontera. En el punto 13.5 se plantean consideraciones energéticas y el punto 13.6 se analizan ω, x, x^2, U_x y U_k promediadas en el tiempo. En los puntos 13.7 y 13.8, se describen desde un punto de vista dinámico el comportamiento del péndulo simple y del péndulo de torsión, respectivamente. No se plantea el método fasorial (o de vectores rotantes) ni la superposición de MAS.

C. Cussó, López y Villar. Física de los procesos biológicos.

En el Capítulo 5: Trabajo y Energía. La tasa metabólica, se define a la Fuerza del oscilador armónico a través del estudio del gradiente de su función Energía potencial. Se señala que dicha fuerza es proporcional y opuesta al desplazamiento en relación al punto de equilibrio (mínima energía potencial).

En el apartado correspondiente a Movimientos Oscilatorios, en la página 279 (Ec. 5.28) se plantea la segunda ley de Newton para una masa *m* sometida a la Fuerza de un oscilador y se obtiene la ecuación diferencial de segundo grado. Se indica que su solución es del tipo: $x(t)=A\ sen\ (\omega_0\ t+\varphi)$ señalando que "*ω_0 es un parámetro llamado pulsación, que no depende de las condiciones iniciales, sino de las propiedades intrínsecas del oscilador, k y m*" (en el caso de un muelle).

Los autores realizan análisis energéticos indicando que la Energía total del oscilador armónico se conserva y demuestran que es constante e igual a $m\omega_0^2 A^2/2$ (Ec. 5.35, pp. 280), donde se señala que *A*, amplitud, y φ, fase inicial, son constantes que dependen de las condiciones iniciales de la posición - *x(0)*- y la velocidad - *v(0)*- del oscilador. Se representa en la Fig. 4.24 (a y b, pp. 280) las posiciones extremas: $-A \leq x \leq +A$. Se indica que el valor de la fase inicial también varía si la ley del movimiento se expresa a partir de la función senoidal o cosenoidal.

Se define al Período (*T*), y se presenta la relación $T=2\pi/\omega_0$. Se analiza la situación de un resorte colgado del techo en el cual se suspende un cuerpo de masa *m* y en el Punto 3.3 (pp. 282), se mencionan distintos tipos de osciladores armónicos: átomos en un cristal o molécula oscilando, tímpano de un oído, huesos al someterse a ciertos esfuerzos. Se presenta la ley del movimiento de un péndulo simple comportándose como un oscilador cerca de su posición de equilibrio.

D. Gettys, Keller y Skove. Física Clásica y Moderna.

Se analizó el capítulo 14: Oscilaciones. En la Introducción del capítulo se menciona que dos tipos de movimientos están estrechamente relacionados con el movimiento oscilatorio, el circular y el ondulatorio.

Se define al MAS desde la Cinemática, como el movimiento de un objeto cuya coordenada *x* en función del tiempo *t* se escribe como: $x=A\ sen(\omega t+\Phi)$ (Ec. 14.1, pp. 343). Se define la amplitud *A* y se menciona que el símbolo ω representa la frecuencia angular, y "*como veremos su valor depende de la rapidez con que ocurren las oscilaciones*" (pp. 343). Se indica que el parámetro Φ se denomina constante de fase y se puede seleccionar a voluntad según cuándo se fije $t=0$. Se señala que el argumento del seno, o coseno, se conoce como fase: $\omega t+\Phi$. Luego de definirse el período *T* se explica que para ese intervalo de tiempo, correspondiente a un ciclo, la fase aumenta en 2π: $\omega(t+T)+\Phi=(\omega t+\Phi)+2\pi$, de donde surge que $T=2\pi/\omega$ (Ec. 14.2; pp. 343). En los párrafos siguientes se define la frecuencia como la inversa del período y se muestran a través de derivadas las expresiones de la velocidad y aceleración. Se explica cómo obtener la fase inicial a partir de las condiciones iniciales de velocidad y posición, y los valores de *A* y ω (pp. 347).

En el apartado 14.3 Dinámica del movimiento armónico simple, se considera un bloque de masa *m* sujeto a un muelle de constante *K* sobre una superficie horizontal sin rozamiento. Se presenta a la fuerza que ejerce el resorte como "*fuerza restauradora lineal*" (pp. 347); se aclara que es lineal porque es proporcional a la elongación y es restauradora porque está dirigida "*en dirección* (según los autores de este trabajo debería decir "sentido") *opuesta al desplazamiento*". A través de la segunda ley de Newton se llega a la ecuación diferencial, para la que se propone como solución una función seno o coseno, del tipo de la que se había planteado (Ec. 14.1, pp. 343) y se comprueba que es solución. Se llega a la expresión de la frecuencia angular, que para este caso resulta $\omega=\sqrt{K/m}$.

En el apartado 14.4 Energía de un oscilador armónico simple. A partir de la función *x(t)* se muestra que la suma de Energía potencial elástica y la Energía cinética resulta un valor constante igual a $KA^2/2$.

En el apartado 14.5. Ejemplos de movimiento oscilatorio armónico simple, se aborda el estudio dinámico de un objeto colgado de un muelle vertical, del péndulo simple y del físico (oscilaciones pequeñas). Respecto del último, se llega a la expresión de la frecuencia angular ω advirtiéndose que no debe confundirse con la componente de la velocidad angular $\omega=d\theta/dt$ que, se muestra, como una función del tiempo.

En el apartado 14.6. Movimiento armónico simple y movimiento circular uniforme, los autores relacionan ambos movimientos. Se menciona que "*…Esta conexión puede ser de gran ayuda para comprender mejor ambos tipos de movimientos y ver cómo otros tipos de movimientos están relacionados con el MAS.*" (pp. 357). Se proyecta el vector posición de una partícula con movimiento circular uniforme en un sistema de ejes coordenados *x y*, y se llega en el eje *x*, a la misma expresión *x(t)* que en el MAS. Se expone el ejemplo de la proyección luminosa del movimiento de un cuerpo pequeño que gira con velocidad angular constante para mostrar que, en la pantalla, se ve la sombra del cuerpo moviéndose a lo largo de una línea describiendo un MAS (Fig. 14.12; pp. 357). Se estudian también las componentes de los vectores velocidad y aceleración. Se muestra de esta manera que "*… el MAS es equivalente a la proyección del movimiento circular uniforme sobre el eje x o sobre el eje y, o sobre cualquier otro* *diámetro de la circunferencia"* (pp. 358). Se menciona que la equivalencia se puede ver invertida, o sea que el movimiento circular uniforme puede considerarse como la composición de dos movimientos armónicos simples a lo largo de diámetros perpendiculares; los dos movimientos deben tener la misma amplitud y la misma frecuencia angular, pero deben tener una diferencia de fase de π/2.

E. Ingard y Kraushaar. Introducción al estudio de la mecánica, materia y ondas.

Se analizó el Capítulo 8: Ejemplos de fuerzas y movimientos - II (pág. 217). Se parte del oscilador "pozo cuadrado" o "partícula en caja" y se define Período de oscilación y Frecuencia de oscilación. Luego se describe al oscilador lineal a través de la expresión de la fuerza $F=-k\,x$, la Energía potencial $V=k\,x^2/2$, y la Energía mecánica $H=k\,x_0{}^2/2$. Se describe el movimiento de un carrito sujeto a un resorte y se introduce cualitativamente la función seno o coseno en la ley del movimiento. En la página 223 se alude cualitativamente al movimiento circular uniforme sincronizando la sombra proyectada en una pantalla de un dispositivo similar al que se muestra en Gettys, Keller y Skove. Se plantea la segunda ley de Newton y se describe cualitativamente la conveniencia de elegir la función $x=x_0 cos(\omega t)$ como solución de la ecuación diferencial si $\omega^2=k/m$. Aludiendo al movimiento de un cuerpo en una circunferencia con velocidad angular ω_0 constante de radio x_0, se establece la analogía entre los movimientos, tanto cualitativa como analíticamente, llamando ω a la frecuencia angular y ω_0 a la velocidad angular (pp. 224). Se desarrolla analíticamente, y con ejemplos, el significado de la fase inicial.

F. McKelvey Grotch. Física para ciencias e ingeniería.

Se analizó el Capítulo 9: Movimiento Oscilatorio. En el Apartado 9.1 Introducción, se menciona que, los movimientos oscilatorios armónicos simples son aquellos en los cuales *"el desplazamiento de la masa es una función senoidalmente variable con el tiempo"* (pp. 349). En el Apartado 9.2 Movimiento armónico simple, se explicita que este tipo de movimiento ocurre siempre que *"la fuerza resultante que actúa en un objeto tiene dirección opuesta* (según los autores de este trabajo debería decir "sentido") *y es directamente proporcional a su desplazamiento"*, teniendo en cuenta la segunda ley de Newton y considerando dicha fuerza aplicada a una masa *m*, se demuestra que $\omega^2=k/m$ (Ec. 9.2.3, pp. 349). Se menciona que la solución que satisface la segunda ley de Newton corresponde a: $x(t)=A\,sen(\omega t+\delta)$ (Ec. 9.2.4, pp. 349). Por derivación sucesiva se obtienen las ecuaciones de la velocidad y aceleración. Se mencionan los significados de la amplitud A y de la frecuencia f, a $\omega=2\pi f$ (Ec. 9.2.7, pp. 359) se la denomina frecuencia angular, $T=2\pi/\omega$ (Ec. 9.2.8, pp. 350) representa el tiempo en que se efectúa un ciclo completo, denominado período, δ es la constante de fase y se deduce a partir de las condiciones iniciales, A y ω (Ec. 9.2.14, pp. 352).

Con relación al Apartado 9.3. Energías cinética y potencial en el movimiento armónico simple, se analizan ambos tipos de energías y se muestra que la Energía total resulta constante (Ec. 9.3.3, pp. 355).

En el Apartado 9.4: Movimiento armónico simple y movimiento circular uniforme: Superposición de oscilaciones armónicas de igual frecuencia, los autores mencionan que relacionan estos movimientos para facilitar el estudio de la superposición de movimientos armónicos. Se proyecta en los ejes x e y, el vector posición de un punto p (Fig. 9.6, pp. 360) que ejecuta un movimiento circular uniforme con velocidad angular constante ω. Se concluye que: *"En consecuencia el movimiento armónico simple de velocidad angular ω puede considerarse como la descomposición en componentes rectangulares de un movimiento circular uniforme de velocidad angular uniforme ω...."*, (pp. 362). Se analiza la superposición de dos movimientos oscilatorios armónicos de igual frecuencia angular y diferentes amplitudes y constantes de fases (pp. 362).

En el Apartado 9.5: El péndulo simple, de torsión y el movimiento oscilatorio angular, se abordan desde el punto de vista dinámico y se analizan las expresiones de la Energía mecánica. Aplicando el principio de conservación de la energía, los autores arriban a que: $\theta(t)=\theta_0 sen\,(\omega t+\delta)$ (Ec. 9.5.3, pp. 364), mencionando que esa ecuación representa el movimiento armónico angular y que por derivaciones sucesivas pueden obtenerse la velocidad y aceleración angulares, siendo ω la frecuencia angular y θ_0 la máxima amplitud angular. Los autores aclaran que ω es la frecuencia angular (número de ciclos de oscilación por segundo) y no la velocidad angular ($\omega \neq d\theta/dt$, relacionada a la rapidez con que varía el desplazamiento angular θ).

G. Resnick, R.; Halliday, D. y Krane, K. Física Volumen 1

Capítulo analizado 17: Oscilaciones. Apartado 17.2 El oscilador armónico simple. Los autores consideran una partícula sometida a una fuerza $F_x=-k\,x$ (Ec. 17.2, pp 375) en la que se señala que k es una constante y x es el desplazamiento de la partícula respecto a su posición de equilibrio. El sistema se denomina *oscilador armónico simple* y el movimiento de la partícula *"movimiento oscilatorio armónico simple"*. Se analiza la Energía potencial asociada a esta fuerza. Se afirma que un cuerpo de masa m vinculado a un resorte ideal con constante de fuerza k y libre de moverse sobre una superficie horizontal sin fricción, es un ejemplo de un oscilador armónico simple. Luego, se aplica la segunda ley de Newton a la masa m vinculada al resorte y se obtiene la ecuación diferencial del movimiento (Ec. 17.4, pp. 376), se muestra su solución (Ec. 17.6, pp. 376) y se señala que para obtenerla se elige la constante ω tal que $\omega^2=k/m$ (Ec. 17.7, pp. 376). Se explica que como la función $x(t)$ se vuelve a repetir luego de un tiempo igual a $2\pi/\omega$, el período T será igual a $T=2\pi/\omega$, $T=2\pi\sqrt{m/k}$ (Ec. 17.8, pp. 377). Se explica el significado de la frecuencia del oscilador f, y su relación con k y m (Ec. 17.9, pp. 377). Se obtiene $\omega=2\pi f$ (Ec. 17.10, pp. 377) en la que ω se denomina frecuencia angular y se indica que x_m es la amplitud del movimiento armónico, $(\omega t+\phi)$ es la fase y ϕ la constante de fase, y cómo se determinan x_m y ϕ. Se señala que la Energía mecánica se conserva (Ec. 17.14, pp. 379). Como aplicaciones del movimiento oscilatorio armónico simple se analizan el oscilador torsional, el péndulo simple y el péndulo físico.

En el Apartado 17.6 se analiza la relación entre el movimiento armónico simple y el movimiento circular uniforme. En la Figura 17.14 (pp. 385) se muestra una partícula en movimiento circular uniforme con velocidad angular ω, siendo r el radio de la trayectoria (cuyo centro coincide con el origen del sistema x, y). Se proyecta el vector posición en los ejes, y a través del análisis de las componentes se concluye que el movimiento circular uniforme puede considerarse como la combinación de dos movimientos oscilatorios armónicos simples desfasados en $\pi/2$.

H. Roederer, J. Mecánica elemental.

Se analizó el Capítulo 3: Dinámica del punto material. Apartados g) Movimiento oscilatorio armónico (pp. 88) y h) Movimiento del péndulo ideal (pp. 93). Se presenta el caso de un cuerpo suspendido de un resorte vertical al que se analiza dinámicamente obteniendo la ecuación diferencial del movimiento y se plantea su solución en términos energéticos (pp. 89) llegándose a la ley del movimiento: $x=A\ se\omega((t\text{-}t_0)+\varphi n)$, a partir de la cual se obtienen las expresiones de la velocidad y aceleración. Se menciona que a ω se la llama pulsación y se define al período τ. Analizando la fase para un tiempo t y otro $(t+\tau)$ se llega a que $\omega = 2\pi/\tau$. Se desarrollan, a través de explicaciones cualitativas y analíticas, los significados de la amplitud A y la fase inicial φ señalando que los mismos dependen de la posición y velocidad iniciales. En el apartado h) se trata dinámicamente al péndulo simple. Se obtiene la ecuación diferencial y se resuelve a través de consideraciones energéticas para oscilaciones pequeñas.

I. Sears, Zemansky, Young, Fredman. Física Universitaria. Volumen 1.

Se analizó el Capítulo 13: Movimiento Periódico. A través del análisis dinámico de un carrito en un riel de aire sujeto a un resorte, se presentan los significados físicos de la amplitud A, el período T, la frecuencia f y la frecuencia angular $\omega=2\pi f$, mencionando que: *"…Pronto veremos para qué sirve ω, representa la rapidez de cambio de una cantidad angular (no necesariamente relacionada con un movimiento rotacional) que siempre se mide en radianes, de modo que sus unidades son rad/s. Dado que f está en ciclos/s, podemos considerar que el número 2π tiene unidades de rad/ciclo."* (pp. 478). A través de las definiciones de T, f y ω se presentan las relaciones: $\omega=2\pi f= 2\pi/T$ (Frecuencia angular).

En la página 479 se presenta al MAS como la proyección de un movimiento circular uniforme; se superpone y sincroniza el movimiento de un cuerpo sujeto a un resorte horizontal, con la sombra de un cuerpo Q que describe un movimiento circular uniforme de la misma manera que lo hacen Gettys, Keller y Skove. Se concluye que la rapidez angular ω del disco es $2\pi f$ y que la amplitud de la oscilación A, es el radio del movimiento circular. Se define a un punto Q como *"punto de referencia"* y a la trayectoria del movimiento circular uniforme como *"círculo de referencia"*, se define lo que es un *"fasor"* y se analizan las componentes de la aceleración del cuerpo oscilando y de la aceleración normal de Q. Se menciona que, por igualdad de las expresiones correspondientes a las aceleraciones, se ve que $\omega^2=K/m$. Se habla de dos interpretaciones de la frecuencia angular ω señalando que *"…es la cantidad que conecta la oscilación y el movimiento circular."* (pp. 481). Se señala que ω y T en el movimiento armónico simple están determinados solamente por la masa m y la constante de fuerza K, y no dependen de la amplitud A. En el apartado desplazamiento, velocidad y aceleración en MAS se reitera que la ley del movimiento en el eje x es idéntica a la ecuación de las coordenadas x del punto de referencia en movimiento circular uniforme con rapidez angular $\omega=\sqrt{K/m}$. Se explica que la ley del movimiento puede ser seno o coseno y el significado de θ, ángulo de fase, haciendo referencia al oscilador de resorte horizontal: *"…nos dice en qué punto del ciclo el movimiento estaba en t=0 (o en qué parte del círculo estaba el punto Q en t=0)"* (pp. 483). En la página 484 se alude a la deducción geométrica de la aceleración, analizando el punto de referencia Q, la que se obtiene derivando la función propuesta. Se presentan a los osciladores: resorte vertical, péndulo de torsión y físico, se define ω refiriéndola a la ecuación del resorte horizontal. Se establecen las equivalencias de las expresiones de ω para los diferentes sistemas físicos oscilantes.

J. Serway y Jewett. FÍSICA para ciencias e ingeniería. Volumen 1

Se analizó el capítulo 15: Oscilaciones y Ondas Mecánicas. A partir del estudio del movimiento de un bloque sobre una superficie horizontal sin fricción unido a un resorte, se plantea la ecuación dinámica del movimiento (Ec. 15.3, pp. 419). En el apartado 7.12 (pp. 420), se reemplaza al bloque por una partícula y se plantea la ecuación 15.3, se menciona la relación: $k/m = \omega^2$ (Ec. 15.4, pp. 420), con la que se obtiene la ecuación diferencial general del movimiento oscilatorio (Ec. 15.5, pp. 420). A partir de la solución de la misma se obtiene la ley del MAS: $x(t)=A\cos(\omega t+\Phi)$ (Ec. 15.6, pp. 420). Se explican los significados de la amplitud A, la constante de fase ϕ y el período T. Se menciona que: "*La constante ω se llama frecuencia angular y tiene unidades de rad/s. Es una medida de qué tan rápido se presentan las oscilaciones; mientras más oscilaciones por unidad de tiempo haya, más alto es el valor de ω*" (pp. 421). Con relación al significado del período se indica: "*…los valores de x y v_x para la partícula en el tiempo t iguala los valores de x y v_x en el tiempo $(t + T)$, porque la fase aumenta en 2π radianes en un intervalo de tiempo de T*" (pp. 421). De aquí los autores deducen que: $T= 2\pi/\omega$ (Ec. 15.10, pp. 421). En las siguientes secciones, se analizan las energías de un péndulo simple.

En el apartado 15.4 se compara el movimiento circular uniforme (con un radio de giro A y una velocidad angular ω) con el MAS que describen las componentes x e y del vector posición de la partícula. Se deduce que el radio de giro y la velocidad angular del movimiento rotacional uniforme de la partícula son respectivamente iguales a la amplitud y frecuencia angular del movimiento oscilatorio. Se aluden a ejemplos: "*…el pistón en el motor de un automóvil* (Fig. 15.12a, pp. 430) *sube y baja (movimiento oscilatorio) aunque el resultado neto de este movimiento es el movimiento circular de las ruedas. En una locomotora antigua* (Fig. 15.12b, pp. 430), *el eje impulsor va de atrás para adelante en movimiento oscilatorio, lo que provoca un movimiento circular de las ruedas*".

K. Tipler, P. Física Volumen I

Se analizó el Capítulo 14: Oscilaciones. Se define como MAS en una dimensión, a aquel en donde el desplazamiento x de la partícula desde su posición de equilibrio en función del tiempo viene dado por la ecuación: $x(t)=A\cos(\omega t+\delta)$ (Ec. 14.1, pp. 401). Donde A se denomina amplitud, $(\omega t+\delta)$ es la fase del movimiento y δ la constante de fase. Se menciona que: "*Cuando la fase varía en 2π desde su valor en el instante t, la partícula tiene de nuevo la misma posición y velocidad que en el instante t*". El tiempo transcurrido para que la fase varíe 2π se denomina período T y es igual a $2\pi/\omega$ (Ec. 14.2, pp. 402). El número de vibraciones por unidad de tiempo $1/T$ se denomina frecuencia f (Ec. 14.3, pp. 402). Se presenta a la frecuencia angular $\omega=2\pi f$ y se menciona que tiene las mismas unidades que la velocidad angular, "*…está estrechamente relacionada con la velocidad angular de un movimiento rotacional asociado al movimiento armónico simple*". Se señala que la constante de fase δ depende de la elección del instante de tiempo cero. Se muestran las ecuaciones de la velocidad y aceleración de la partícula. Se indica que comparando la segunda derivada de la posición con respecto al tiempo, y la expresión de la Fuerza en el resorte, resulta que en un muelle: $\omega=\sqrt{k/m}$, $T=2\pi\sqrt{m/k}$, de donde se infiere que ω, T y f son independientes de la amplitud A. En el apartado 14.2 (pp. 405) se analiza la relación entre el movimiento circular de una partícula con velocidad constante ω y el MAS. Se concluye que "*…Podemos considerar el movimiento circular de una partícula como la combinación de dos movimientos oscilatorios armónicos simples perpendiculares que tienen la misma amplitud y frecuencia (igual a ω) y que están desfasados en $\pi/2$*".

V. SÍNTESIS

Se encontró que en los LT analizados el estudio del movimiento oscilatorio armónico simple (o abreviadamente MAS) se introduce a través de diferentes enfoques físicos: *Cinemático*: Alonso y Finn; Gettys, Keller y Skove y Tipler; *Dinámico:* Bueche; Ingard yKraushaar; Resnick, Halliday y Krane; Roederer; Sears, Zemansky, Young, Fredman; Serway y Jewett y *Energético:* Cussó, López y Villar.

Se sostiene que en el estudio de este movimiento la frecuencia angular es una magnitud característica y fundamental. Si se espera que los estudiantes conceptualicen adecuadamente el fenómeno oscilatorio la comprensión del significado físico de esta variable es crucial, sin embargo se encontró que la mayoría de los autores de LT (Gettys, Keller y Skove; Ingard yKraushaar; McKelvey Grotch; Resnick, Halliday y Krane; Sears, Zemansky, Young, Fredman; Serway y Jewett; Tipler) dedican una importante parte del tratamiento del tema a la comparación del movimiento oscilatorio armónico simple con el movimiento circular uniforme. Si bien esto podría introducir a los estudiantes en el manejo de herramientas matemáticas de utilidad para abordar temas relacionados al estudio de la superposición de movimientos oscilatorios aplicados, por ejemplo, a la representación del comportamiento de la materia a nivel atómico, a criterio de los autores, el énfasis y dedicación de los autores de LT en relacionar ambos tipos de movimientos, en un primer contacto de los estudiantes con el tema, estaría promoviendo que los mismos conceptualicen ω como una velocidad angular, en lugar de una magnitud característica del sistema oscilante que cumple un rol fundamental en la descripción del movimiento, y que depende las propiedades inerciales del sistema oscilante y de características de la acción recuperadora.

VI. CONCLUSIONES

Si bien los LT son herramientas imprescindibles para que los estudiantes internalicen los conceptos físicos, los docentes deberían contribuir al proceso de aprendizaje por parte de los mismos a través de las diferentes instancias de aprendizaje ofrecidas en un curso de Mecánica en el ciclo inicial de carreras universitarias, sean éstas clases de teoría, resolución de problemas o trabajos prácticos, todas ellas sostenidas mediante la interacción del colectivo participante, de modo de alertar a los estudiantes sobre los significados físicos de las variables que les permitan una clara comprensión del movimiento que están estudiando, y de esta manera propiciar verdaderas situaciones de aprendizaje.

La posibilidad de contar con resultados derivados de la investigación educativa a partir del análisis crítico de los LT de Física aportaría a soslayar parte de las probables causas del fracaso estudiantil relacionadas con las dificultades asociadas al aprendizaje de determinados contenidos de Física.

REFERENCIAS

Alonso, M. y Finn, E. (1986). *Física*. México: Addison Wesley Iberoamericana.

Alexander, P.A. y Kulicowich, J.M. (1994). Learning from a Physics text: A Synthesis of recent research. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9), pp. 895-911.

Bardin, L. (1996). *El análisis de contenido.* Madrid: Akal.

Bouciguez, M. y Santos, G. (2010). Applets en la enseñanza de la física: un análisis de las características tecnológicas y disciplinares. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencias*, 7(1), pp. 56-74.

Bueche, F. (1992). *Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería*. Tomo 1. Cuarta edición. México: McGraw Hill.

Concari, S. (2002). El enfoque interpretativo investigación en educación en ciencias. *Revista Ensaio: Evaluação y Políticas Públicas em Educaçã*o, 10 (36), pp. 315-330.

Cussó, F.; López, C. y Villar, R. (2004). *Física de los procesos biológicos*. Barcelona: Ariel.

Gettys, W.; Keller, F. y Skove, M. (1991). *Física Clásica y Moderna*. Madrid: McGraw Hill.

Giorgi, S.; Cámara, C.; Carreri, R. y Bonazzola, M. (2013). Un estudio sobre libros de Física en el contexto del Ciclo Inicial de carreras de grado en la Universidad Nacional del Litoral. *Memorias de la XVIII Reunión en Educación en Física*, APFA, Universidad Nacional de Catamarca, Catamarca, pp. 1436-1455.

Ingard, U. y Kraushaar, W. (1984). *Introducción al estudio de la mecánica, materia y ondas*. Argentina: Reverté.

King, C. (2010). An analysis of misconceptions in science textbooks: Earth science in England and Wales. *International Journal of ScienceEducation*, 32(5), pp. 565-601.

McKelvey, J. y Grotch, H. (1980). *Física para ciencias e ingeniería.* Vol. I. México: Harla.

Otero, J. (1990). Variables cognitivas y metacognitivas en la comprensión de textos científicos: el papel de los esquemas y el control de la propia comprensión. *Enseñanza de las Ciencias,* 8(1), pp. 17-22.

Pocoví, M. y Hoyos, E. (2011). Corriente de desplazamiento: su presentación en textos y su comprensión por parte de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias,* 29(2), pp. 275-288.

Resnick, R.; Halliday, D. y Krane, K. (2006). *Física.* Vol. I. México: Cecsa.

Roederer, J. (2011). *Mecánica elemental*. Buenos Aires: Eudeba.

Samaja, J. (1994). *Epistemología y Metodología*. Buenos Aires: Eudeba.

Sears, F.; Zemansky, M.; Young, H. y Fredman, R. (2009). *Física universitaria.* Vol. 1. Decimosegunda edición. México: Pearson Educación.

Serway, R. y Jewett, J. (2010). *Física para ciencias e ingeniería.* Vol. 1. Séptima edición. México: Cengage Learning.

Tipler, P. (1979). *Física.*Vol.1. Barcelona: Reverté.