

# Dinámica de sistemas oscilantes: concepciones en estudiantes de ingeniería

Dynamics of oscillating systems: Conceptions in engineering  
students

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

Claudio Enrique<sup>1</sup>, Marta Yanitelli<sup>2</sup> y Silvia Giorgi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UDB Física, Departamento de Materias Básicas, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe. Lavaisse 610, (3000), Santa Fe. Argentina.

<sup>2</sup>Departamento de Física y Química, Facultad de Cs Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario. Pellegrini 250, (2000), Rosario. Argentina.

<sup>3</sup>Departamento de Física, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral. Santiago del Estero 2829, (3000), Santa Fe. Argentina.

E-mail: cenrique@frsf.utn.edu.ar

## Resumen

Este trabajo es parte de una tesis de doctorado en la que se asume que a partir del empleo de las TIC los alumnos podrían mejorar sus perfiles conceptuales con relación al estudio de los movimientos oscilatorios. Se presenta un análisis de las respuestas dadas por estudiantes de una carrera ingenieril a un conjunto de preguntas sobre dinámica de los sistemas oscilantes, incluidas en un cuestionario que fue usado como herramienta para la obtención y registro de información sobre sus conocimientos previos. El análisis de las respuestas indica que estos estudiantes dominan algunos conceptos relacionados con dichos movimientos y, en líneas generales, sus saberes previos presentan distintos niveles de comprensión. Estos resultados permiten disponer de información relevante sobre los contenidos a trabajar de manera más detallada en una secuencia didáctica que se aplicará en una etapa posterior y en la que se prevé el uso de TIC.

**Palabras clave:** Física universitaria; Enseñanza de la dinámica de los sistemas oscilantes; Conocimientos previos.

## Abstract

This work is part of a PhD thesis in which it is assumed that students can improve their conceptual profiles with regard to the study of Oscillation Movements. We present an analysis of the answers given by students of an engineering career to a set of questions on Dynamics of Oscillating Systems included in a questionnaire that was used as a tool for obtaining and recording information about their previous knowledge. The analysis of the answers indicates that these students dominate some concepts related to these movements and, in general, their previous knowledge presents different levels of compression. These results allow having relevant information about the contents to be worked in a more detailed way in a didactic sequence that will be applied at a later stage and in which the use of ICT is foreseen.

**Keywords:** University physics; Teaching dynamics of oscillating systems; Previous knowledge.

## I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo fue desarrollado en el marco de una tesis de doctorado titulada “Integración Conceptual de los Movimientos Oscilatorios Armónico y Amortiguado a través de Actividades Problemáticas Significativas Mediadas por TIC en el Nivel Universitario Básico: Diseño, Desarrollo y Evaluación”, en la que se asume que a partir del empleo de TIC los alumnos podrían modificar sus perfiles conceptuales (Mortimer, 2000) cuando detecten diferencias entre sus saberes y lo que el contexto externo les muestra, hasta adoptar un perfil que los satisfaga.

El objetivo particular de esta investigación fue detectar cuáles son los conocimientos previos que ponen de manifiesto alumnos de Ingeniería Civil al resolver distintas situaciones problemáticas sobre dinámica de sistemas oscilantes, a fin de estructurar desde allí los procesos de aprendizaje. Para ello, se

confeccionó un cuestionario organizado en base a doce preguntas sobre diferentes tópicos de Mecánica Clásica para el análisis de dichos sistemas.

## II. REFERENTES TEÓRICOS

Ya es conocido que los estudiantes cuando ingresan a la universidad, llegan con múltiples conocimientos relacionados con fenómenos y conceptos científicos a través de los cuales pueden explicarlos (Campanario y Otero, 2000). La importancia de conocer cuáles son estos saberes, particularmente sobre la dinámica del movimiento oscilatorio, se debe a que dichos estudiantes tienden a abordar los problemas con los conocimientos que más dominan, pero que no son necesariamente los más relevantes para encontrar la solución (Salinas y otros, 1996). Por lo tanto, y ante situaciones físicas desconocidas, pueden aplicar modelos que corresponden a aquellos fenómenos que le son conocidos porque existe algún tipo de semejanza, y “*en muchas ocasiones esta semejanza tiene que ver con factores irrelevantes del fenómeno, pero fácilmente perceptibles*” (Campanario y Otero, 2000).

En consecuencia, estos conocimientos previos pueden constituir obstáculos poderosos que dificultan el aprendizaje de los conceptos y la comprensión de los fenómenos oscilatorios, vibratorios y ondulatorios que son de primordial interés para los futuros ingenieros civiles, como en el análisis de estructuras bajo cargas dinámicas y la comprensión de sus fundamentos teóricos (Brotons y otros, 2014). Si bien la indagación sobre dichos conocimientos constituye un campo de la investigación educativa en la física, desde las primeras observaciones de Viennot (1979) hasta las más actuales, no abundan las referidas a los movimientos oscilatorios. Dentro de los trabajos que se han realizado sobre esta temática se destacan los de Clement (1982), Viennot (1989), Santos Benito y otros (2005), y García Barneto y Bolívar Raya (2008). En particular sobre las investigaciones a nivel local en la UTN – FRSF se puede citar el trabajo de Enrique (2017).

## III. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Esta indagación se realizó con la participación de un grupo conformado por 47 alumnos regulares de Física I, asignatura perteneciente al primer año de la carrera de Ingeniería Civil que se dicta en la UTN – Facultad Regional Santa Fe (comisión “A” cohorte 2017). Como instrumento de recolección y análisis de datos, se confeccionó un cuestionario escrito tomando como referencia los trabajos de Enrique (2017), García Arteaga (2013), García Barneto y Bolívar Raya (2008), Jiménez García y otros (2016), Otero y otros (2003) y Santos Benito y otros (2005). El mismo fue entregado a los estudiantes en el aula, sin previo aviso, antes de la primera clase formal sobre movimiento oscilatorio.

El objetivo del cuestionario de ideas previas o *pretest* se basó en proponer una actividad humana – como una práctica social– y, a través de la misma, construir el conocimiento científico mediante el uso de herramientas como la modelización (Ábalos, 2006). La introducción se realizó mediante un personaje de historietas, Mafalda, que está jugando en una hamaca; y se indica que, al analizar el movimiento de ida y vuelta desde el punto de vista de la Mecánica Clásica, se llegaría a la conclusión de que se trata de un movimiento oscilatorio (MO). Posteriormente, y con el objeto de modelizar el movimiento de Mafalda como un péndulo simple analizado desde un marco de referencia inercial o fijo en la Tierra, se presenta una imagen simplificada (figura 1), explicitando que se podría inferir que el movimiento de la persona más su asiento (el sistema), en ausencia de rozamiento, se realiza de manera periódica alrededor de un punto fijo (O) pasando por las posiciones extremas (A y B) y la de equilibrio (C); mencionando que la cadena se puede considerar como si fuese una cuerda inextensible y de masa despreciable. Finalmente, se presentan las 12 preguntas que conforman el cuestionario y, al final de cada una de ellas, se agrega una consigna complementaria donde el sujeto indagado debe calificar su grado de confianza ante la respuesta dada, cuyo intervalo va desde 0 -confianza nula- a 10 -confianza plena-.

Las preguntas del cuestionario son abiertas, y cerradas de opción múltiple. Las mismas pueden agruparse de la siguiente manera: conceptos básicos (preguntas 5 y 6); Cinemática (preguntas 7, 8, 10 y 11); Energía (preguntas 3, 4 y 8) y Dinámica.

En este trabajo se analizarán las respuestas dadas por los estudiantes a las preguntas referidas a Dinámica: (P1); (P2); (P9); (P10) y (P12). El texto de las mismas se consigna en el anexo. En la tabla I se explicita el tipo de pregunta, sus características y las actividades a realizar por los estudiantes.

TABLA I. Características de las preguntas sobre Dinámica de Sistemas Oscilantes.

Pregunta	Tipo	Características	Actividades a realizar
P1	De introducción - Abierta	Conceptos conocidos de Dinámica Clásica en posiciones características del MOA (extremas y de equilibrio)	a. Diagrama de cuerpo libre del sistema (persona + asiento de la hamaca) b. Selección de un sistema de coordenadas y de referencia conveniente c. Aplicación de la 2° ley de Newton para cada uno de los ejes asociados d. Indicación de la fuerza resultante que actúa sobre el sistema
P2	Abierta	Percepción de la periodicidad de la fuerza neta	Representación gráfica de la fuerza resultante de P1 en función del tiempo
P9	Cerrada (5 opciones)	Identificación del movimiento del sistema cuando la amplitud ya no es constante	Reconocimiento del movimiento de un sistema que realiza oscilaciones alrededor de cierta posición de equilibrio con presencia de fricción
P10	Cerrada (3 opciones)	Identificación de valores instantáneos en las gráficas de posición (x); componentes de fuerza (F); velocidad (v) y aceleración (a) en función del tiempo	Registro de los instantes A: $t = 0$ B: $t = T/4$ C: $t = T/2$
P12	Abierta	Análisis del movimiento de un sistema real con presencia de rozamiento	Explicación del movimiento de una persona que decide no impulsarse más cuando se está hamacando

Cabe aclarar que la elaboración del *pretest*, en el que como se mencionó anteriormente las preguntas proceden de cuestionarios empleados en investigaciones ya publicadas, así como el análisis de resultados se llevaron a cabo a través de un trabajo conjunto entre los autores en el que permanentemente se compararon y consensuaron puntos de vista, a fin de reducir sesgos individuales.

#### IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos y su correspondiente análisis se presentan, inicialmente, de manera separada por pregunta, para posteriormente continuarlo con un análisis de carácter global.

##### A. Pregunta 1

Se observó que sólo el 15% de los estudiantes empleó adecuadamente en el diagrama de cuerpo libre (DCL) las magnitudes vectoriales correctas (Tensión y Peso). Por otro lado, el 43% también hizo uso de ambas magnitudes físicas, si bien fueron simbolizadas como magnitudes escalares. Además, se registró que el 15% apeló a otras fuerzas inexistentes en el movimiento oscilatorio armónico, como las de rozamiento y la normal.

El sistema de coordenadas más adecuado a ser utilizado en las posiciones A y B (extremas) y C (de equilibrio) resulta ser el asociado a las direcciones radial y tangencial, el cual fue empleado solamente por el 11% de los estudiantes. El 34% optó por uno asociado al primer cuadrante, lo cual puede ser debido a que es el más usado en la resolución de problemas básicos de Mecánica Clásica.

Respecto a la aplicación de la Segunda Ley de Newton en las dos posiciones A y C, sólo fue efectuada de manera correcta por parte de un único estudiante, mientras que no fue aplicada por el 28%. Debe citarse que hubo 16 alumnos que, si bien resolvieron esta tarea de manera desacertada, resultaron ser coherentes con el sistema de coordenadas elegido previamente. Ello evidencia la ejecución de un error de tipo situacional (Slisko, 2013) dado que el planteo de la situación es erróneo respecto a la conexión con la situación real analizada. Es decir, el uso de un sistema de coordenadas cartesianas referido al primer cuadrante originó una idea equivocada de que el movimiento del sistema es ocasionado por la componente de la fuerza Tensión en la dirección del movimiento -en lugar de la componente de la fuerza Peso-. Otro detalle singular e importante es que 26 de los 47 estudiantes propusieron que la fuerza neta en la posición de equilibrio es nula, lo cual evidencia una confusión entre “posición de equilibrio” y “condición de equilibrio”, y el desconocimiento de la presencia de una aceleración centrípeta. También se observó en el DCL la representación de magnitudes físicas distintas a las fuerzas exteriores. Consecuentemente, se detectaron otros dos tipos de errores: (a) de modelación, que aparecen cuando en la configuración matemática de la

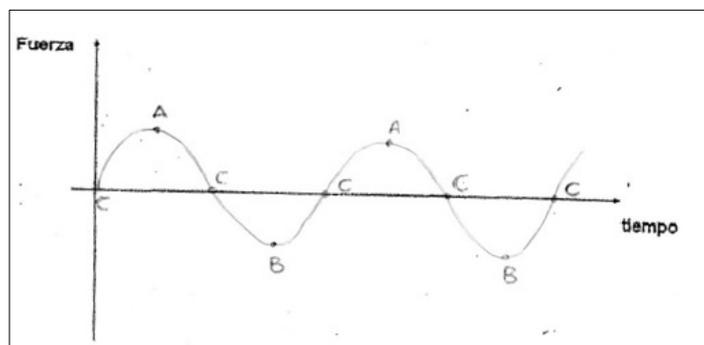
situación, explícita o implícitamente, se suponen simplificaciones que no corresponden a la realidad (Slisko, 2013) tal como en el caso de considerar fuerza resultante nula en la posición de equilibrio; y (b) conceptuales, que se dan “cuando la formulación del problema o los pasos en su “resolución” revelan que el autor sostiene ideas erróneas sobre las cantidades, leyes o los procesos físicos relacionadas con la situación” (Slisko, 2013), por ejemplo: no reconocer la presencia de una aceleración centrípeta cuando la masa del péndulo pasa por la posición de equilibrio. En relación a los errores mencionados cabe señalar que la mayoría de los estudiantes presentaron los tres tipos de errores simultáneamente. Respecto al grado de confianza, pudo observarse una distribución casi gaussiana, hallándose que el mismo fue de  $4,2 \pm 0,5$ .

**B. Pregunta 2**

La pregunta P2 involucra la representación gráfica de una magnitud física periódica, donde los estudiantes deben poner en juego significados, procedimientos y argumentos sobre la periodicidad y resignificar sus conocimientos a través del debate entre función y forma (Téllez y Osorio, 2010). Shama (1998) considera que la periodicidad es un concepto científico y que los fenómenos periódicos se entienden como un proceso completo que obedece a leyes unificadas.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de P2 muestran que 38 sujetos representaron gráficamente la componente de la fuerza resultante en función del tiempo, de los cuales 35 propusieron gráficas continuas y 22 indicaron un comportamiento periódico. En base al tipo de gráfica elaborada, 19 sujetos apelaron a una función armónica, de las cuales 16 fueron construidas simétricas respecto al eje de las abscisas (figura 1), mientras que 3 se ubicaron por encima de dicho eje. Entre los restantes, 12 estudiantes hicieron uso de relaciones lineales y 7 recurrieron a distintas relaciones funcionales no adecuadas, dado que representaron dos rectas paralelas y simétricas, o una fuerza constante y positiva en función del tiempo. Finalmente, 9 estudiantes no respondieron.

Otro tema de interés estuvo asociado a la percepción de la regularidad de la periodicidad, constatado mediante la construcción de la gráfica de la fuerza resultante en función del tiempo para más de un ciclo. Se observó que lo lograron 14 estudiantes, de los cuales 11 iniciaron la gráfica en el punto “cero o de equilibrio”, mientras que los 3 restantes lo hicieron en el punto de inflexión. Un detalle muy interesante es que 7 alumnos ubicaron en la gráfica las posiciones instantáneas extremas A y B; y de equilibrio C del sistema en estudio (figura 1). Ello evidencia que estos estudiantes localizaron de manera correcta la situación física particular o local en un análisis o contexto global. El grado de confianza fue variable, con 3 de mínimo, y 10 de máximo. Los valores obtenidos fueron de  $2,3 \pm 0,5$ .



**FIGURA 1.** Gráfica elaborada por el estudiante identificado con el código numérico 21 en la que se observa la simetría respecto al eje de abscisas y las posiciones instantáneas A, B y C.

**C. Pregunta 9**

El objeto de P9 fue indagar si los estudiantes identifican el movimiento de un sistema que realiza oscilaciones alrededor de cierta posición de equilibrio con presencia de fricción. La respuesta correcta “Oscilatorio no periódico amortiguado” fue elegida por 21 estudiantes (45%). Por otra parte, el 23% (11 sujetos) optaron por “Oscilatorio periódico amortiguado”. Es decir, un elevado porcentaje de estudiantes reconoce cuando el movimiento se amortigua. Entre los que no lo reconocen (32%), el mayor porcentaje corresponde a los que seleccionaron la alternativa “No lo puedo explicar”; seguido en orden decreciente por “Oscilatorio periódico” y “Oscilatorio no amortiguado”. Es decir, de los sujetos que no distinguen la amortiguación, un número importante directamente no lo puede dilucidar. El grado de confianza fue de  $3,8 \pm 0,4$ .

#### D. Pregunta 10

La pregunta P10 se planteó con el objeto de explorar si los estudiantes identifican en cuatro gráficas periódicas -posición ( $x$ ); componentes de fuerza ( $F$ ); velocidad ( $v$ ) y aceleración ( $a$ ) en función del tiempo- valores instantáneos de las mismas para tiempos expresados en fracciones del período  $T$  ( $t = 0$ ;  $t = T/4$ ; y  $t = T/2$ ). Los resultados hallados indicaron que la mayoría (57%) los identificó correctamente en las cuatro gráficas, denotando que estos estudiantes reconocen valores instantáneos en un contexto global. En las respuestas incorrectas (23,5%) se observó que los estudiantes confundieron la consigna o directamente no la aplicaron adecuadamente. Finalmente, el 8,5% lo hizo de manera parcialmente correcta, dado que sólo respondió alguna de las opciones, mientras que el 11% no respondió. El grado de confianza fue  $5,6 \pm 0,5$ .

#### E. Pregunta 12

La pregunta P12 estuvo orientada a detectar si los estudiantes reconocían la existencia de un movimiento oscilatorio amortiguado en el análisis de un sistema real cuando se incluye rozamiento. Se observó que el 85% apeló a respuestas que devienen de un conocimiento asociado a sus experiencias cotidianas, no obstante, en algunos casos las explicaciones incluyen términos propios del lenguaje científico. Por ejemplo, el alumno identificado con el código numérico 4 escribió: “El movimiento irá escaseando, ya que se frenará hasta que su velocidad sea cero. El período irá disminuyendo y por lo tanto, su radio también”. Se evidencia que percibe una de las características propias de un sistema que describe un movimiento oscilatorio amortiguado que es la disminución de su amplitud –que la denomina *radio*-, si bien se lo asocia erróneamente a la disminución del período de oscilación. Por su parte, el alumno 23 realiza un razonamiento similar, aunque recurriendo a una narrativa visual, la que se presenta en la figura 2.

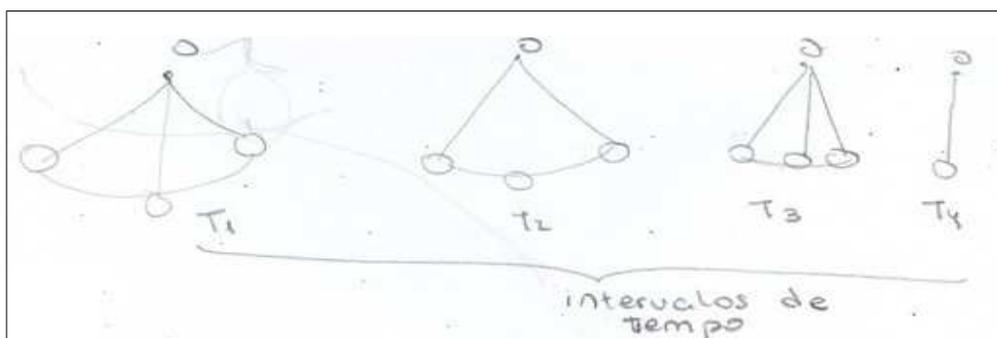


FIGURA 2. Representación efectuada por el alumno 23 para explicar un movimiento oscilatorio amortiguado.

Por otro lado, el alumno 14 presenta contradicciones en su explicación: “Su movimiento será con cantidad de movimiento y energía mecánica constante, reduciendo su velocidad en el tiempo con  $a = 0$ ”. Si bien parte de supuestos propios de un MO armónico simple, considera la disminución de la velocidad en función del tiempo, propia de un MO Amortiguado, aunque muestra una contradicción al indicar que lo hace con aceleración nula.

Dentro de las explicaciones que se clasificaron como correctas (28%), el alumno 9 expresó que:

*Si el sistema no posee fricción, su altura máxima se conservará, su velocidad y aceleración variarán de la misma forma. Si posee mucha fricción, la altura máxima irá variando al igual que su velocidad y aceleración (no se conservaría) y termina frenando*

El estudiante 40 mencionó: “El movimiento irá disminuyendo, la amplitud de la oscilación será cada vez menor hasta que quede quieto por completo”.

Para finalizar, el 8,5% no respondió esta pregunta y el 6,5% lo hizo de manera desacertada.

#### F. Análisis global

Cordero y Martínez (2002) mencionan que los modelos de predicción en las funciones periódicas son principalmente globales e integran caracterizaciones locales y globales. Más allá de indagar sobre caracterizaciones locales –P1– y globales –P2–, las construcciones conceptuales pueden desarrollarse mediante las respuestas a las preguntas P1 y P2 por separado. Sin embargo, y para nuestro trabajo, también pueden construirse mediante las respuestas a una de ellas a partir de la otra como afirma Vygotsky (1995), y pueden estar conectadas en una solución a un problema (Vinner, 1991).

En P1 se registran, según las dos posiciones elegidas, dos valores instantáneos distintos de la componente de la aceleración tangencial: una nula en la posición de equilibrio, y otra, opuesta y proporcional al desplazamiento, en la posición extrema, típico de una fuerza restauradora, que es la que origina un Movimiento Oscilatorio Armónico.

Ahora bien, la mayoría de los sujetos indagados llegaron a este resultado en la posición de equilibrio C, pero como consecuencia de un planteo erróneo basado en que la componente de la fuerza resultante en dirección radial también es nula. Por lo tanto, existe una contradicción asociada a las situaciones propuestas, donde la resolución en P1 es equivocada, mientras que es correcta en P2. También se presentan situaciones coherentes en su resolución, si bien científicamente son incorrectas. Por ejemplo, el alumno 3 tiene coherencia en su resolución, dado que en P1 propone resultantes distintas en las dos posiciones A y C, y en P2 representa la Fuerza neta en "C" en el origen de la gráfica (punto 0; 0), y la resultante en "A" dirigida hacia abajo y a la derecha del eje de abscisas, tal como se indica en la figura 3.

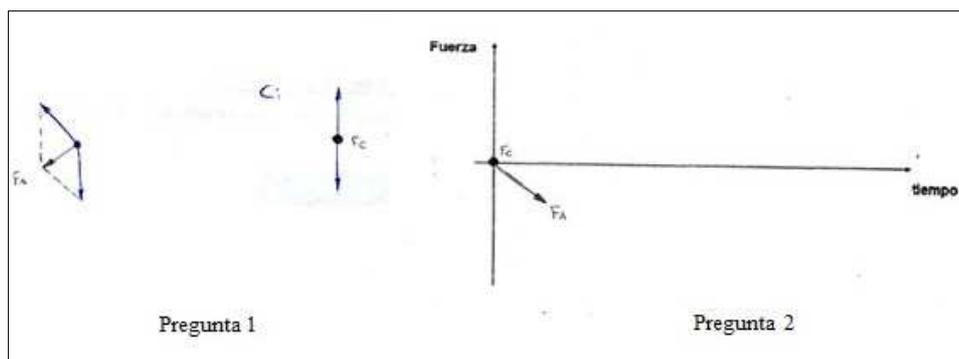


FIGURA 3. Se muestran las representaciones gráficas realizadas por el alumno 3 en P1 y P2.

Se evidencia un error de tipo conceptual en este desarrollo, debido probablemente a que ha trabajado con movimientos donde la aceleración es constante. Este tipo de error conceptual suele presentarse, tal como lo señala García Carmona (2005), debido al uso de argumentos físicos equivocados (leyes o principios físicos improcedentes), o que presentan aparentes incongruencias en los resultados.

Otro análisis interesante de efectuar es entre las preguntas P2 y P10, a fin de indagar sobre la predicción de la periodicidad y su extensión a distintas magnitudes físicas. Los resultados obtenidos indicaron que 15 estudiantes (32%) predicen la periodicidad y, además, identifican los valores instantáneos, expresados en fracciones del período, de las componentes de cuatro magnitudes físicas periódicas; destacándose 5 sujetos que en P2 ubican la fuerza neta presente en las posiciones extremas y de equilibrio. Además, se detectaron 14 alumnos (30%) que tuvieron dificultades en predecir la periodicidad, si bien localizaron adecuadamente las posiciones instantáneas en P10. Por otro lado, 4 sujetos (8,5%) que respondieron incorrectamente P2 lo hicieron correctamente en P10, lo que muestra que pudieron manipular las gráficas periódicas de  $x$ ,  $v$ ,  $a$  y  $F$  aunque no lograron obtener  $F$  mediante un análisis dinámico o la predicción de la periodicidad del sistema, a pesar de contar con conocimientos previos relacionados con movimientos periódicos, como el movimiento circular uniforme, o de Matemática asociados a funciones periódicas como el seno y el coseno. Finalmente, 5 estudiantes (11%) respondieron de modo correcto P2, pero no así P10, por lo que se observa la situación opuesta a la explicación anterior: si bien predicen la periodicidad de la componente de la fuerza neta en la dirección del movimiento, no pueden ubicar los valores instantáneos, en fracciones del período, para las cuatro variables periódicas. Con base en estos resultados, se concluye que el 32% de los estudiantes investigados comprende las dos situaciones en las que debe apelar al concepto de la periodicidad; el 49,5%, sólo una de ellas; y el 18,5% restante no domina ninguna de las dos.

El análisis global de estas 5 preguntas permite obtener mayor información sobre los conocimientos previos que tienen estos estudiantes asociados a la dinámica de los movimientos oscilatorios. Además de revisar cuántas preguntas fueron respondidas y de qué manera, se estableció una base que permita comparar los distintos tipos de desempeños. Para ello, se obtuvo un puntaje de aciertos para las 5 preguntas y para cada alumno. Éstos fueron agrupados en tres categorías: los de mejor desempeño –cuyo rango de valores está comprendido entre 93 y 60 puntos–, desempeño medio –entre 55 y 40– y, finalmente, los de menores logros –entre 38 y 0–. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla II.

TABLA II. Puntajes en las respuestas sobre dinámica del movimiento oscilatorio y porcentajes de alumnos.

Puntaje	Porcentaje de estudiantes
93 - 60	30%
55 - 40	23%
38 - 0	47%
Totales	100%

Para el primer grupo (30%), el valor máximo hallado fue de 93 puntos y corresponde al alumno 6, quien respondió con mayor certidumbre P1 –se equivocó al considerar que en la posición de equilibrio la velocidad instantánea es nula–; a P10 la resolvió de manera parcialmente correcta; y, a las tres preguntas restantes, correctamente. Además, indicó en P2 las posiciones instantáneas A, B y C. En el resto de este grupo se hallaron valoraciones con 85 puntos (2 alumnos); 80 (1 alumno), 75 (1 alumno), 70 (2 alumnos), 65 (2 alumnos). Cinco estudiantes alcanzaron el límite de 60 puntos.

En el segundo grupo se encuentran los estudiantes con deficiencias parciales en Dinámica; particularmente en las preguntas P1, P2 y parcialmente en P9. Estos estudiantes –que representan el 23%– presentan dificultades en el análisis dinámico de las posiciones A y C; no logran identificar tanto la periodicidad de la componente tangencial de la fuerza resultante en función del tiempo, como la influencia de la fricción en un sistema oscilante. Si bien sus resultados generales son buenos y aceptables respecto a la ubicación de valores instantáneos –en función de fracciones del período– de las componentes de las cuatro magnitudes físicas ( $x$ ,  $v$ ,  $a$ ,  $F$ ) y a la descripción de un sistema amortiguado.

Finalmente, el último grupo cuyos puntajes están comprendidos entre 38 y 0 puntos, resulta ser el más numeroso (47%) y se caracterizó por presentar sólo buenos resultados en P12, dado que los estudiantes describieron de manera aceptable un MO amortiguado, pero en las restantes cuestiones presentaron deficiencias en sus análisis e interpretación. Casos particulares son los de 2 estudiantes que no respondieron correctamente ninguna de las cinco preguntas sobre dinámica del MO y 5 estudiantes que lo hicieron parcialmente en P2 y en P12. Por último, 4 alumnos respondieron bien sólo una pregunta (P9 o P12) y 2 lo hicieron parcialmente en dos cuestiones (P1 y P12).

El grado de confianza en las respuestas fue muy variado, por lo que su análisis detallado excede a lo presentado en este trabajo. De todos modos, se pueden citar algunas situaciones particulares. Por ejemplo, el alumno 6, que fue el que obtuvo mayor puntaje en las respuestas, tuvo un grado de confianza promedio de 4,8. Esto indica que en general no se ha sentido seguro en sus resoluciones en dinámica del movimiento oscilatorio. Por el contrario, el estudiante 43, con una menor puntuación, muestra un grado de confianza de 7,0, lo que denota que posee un nivel medio–alto de confianza. Otros sujetos que merecen un análisis particular son aquellos cuyas respuestas fueron mayormente incorrectas y su grado de confianza fue bajo o muy bajo.

## V. CONSIDERACIONES FINALES

El análisis efectuado permitió evidenciar que los estudiantes que participaron en la investigación presentan distintos niveles de comprensión al enfrentar situaciones que demandan una conceptualización sobre la dinámica de sistemas oscilantes.

Más de la mitad de estos estudiantes reconoce que se trata de movimientos (oscilatorio armónico y amortiguado) en los que la fuerza neta y la aceleración son variables en el tiempo y en consecuencia son movimientos distintos a los estudiados previamente en la asignatura Física I.

Cabe destacar que los estudiantes aún tienen dificultades asociadas a la construcción de DCL, a la elección de un sistema de coordenadas adecuado y con el planteo de la segunda Ley de Newton.

De manera global, se observa que existe un 30% de estudiantes que maneja de modo aceptable sus conocimientos previos en estos contenidos; el 23% presenta ciertas dificultades; pero la mayoría, conformada por el 47%, presenta variadas concepciones erróneas. Consecuentemente, los resultados obtenidos permiten disponer de información relevante sobre los contenidos a trabajar de manera más detallada en una secuencia didáctica que se aplicará en una etapa posterior y en la que se prevé el uso de TIC. Cabe destacar que los sistemas oscilantes constituyen uno de los referentes teóricos más importantes para los ingenieros civiles, como también el estudio de vibraciones y las ecuaciones diferenciales necesarias para el análisis de estructuras bajo acciones dinámicas.

Luego de la intervención didáctica mencionada, se aplicará el mismo cuestionario como *postest*, con el propósito de evaluar cuali y cuantitativamente la evolución de los perfiles conceptuales de los estudiantes, teniendo en cuenta el nivel de apropiación adquirido y la coherencia de sus discursos argumentativos.

## REFERENCIAS

- Abalos, G. B. (2006). Una socioepistemología del aspecto periódico de las funciones. *RELIME. Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 9(2), 227-252.
- Brotos, V., Baeza, F. J., Crespo Zaragoza, M. Á. e Ivorra, S. (2014). Desarrollo de aplicaciones interactivas para la docencia de estructuras en Ingeniería Civil. *XII Jornadas de Redes de Investigación en Docencia Universitaria, Instituto de Ciencias de la Educación*. Universidad de Alicante, 186–195.
- Campanario, J. M. y Otero, J. C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155–169.
- Clement, J. (1982). Student preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), 66–71.
- Cordero, F. y Martínez, J. (2002). El comportamiento periódico de una función como un argumento contextual. La manifestación del movimiento fuera del instante. En C. Crespo (Ed.), *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, 15, 55–60. México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Enrique, C. (2017). *Conocimientos previos sobre movimiento oscilatorio de estudiantes de ingenierías*. Saarbrücken, Germany: Académica Española.
- García Arteaga, V. (2013). Educaplay – Prueba tipo icfes movimiento armónico simple. [https://www.educaplay.com/es/recursoseducativos/888274/print/prueba\\_tipo\\_icfes\\_movimiento\\_armonico\\_simple.htm#!](https://www.educaplay.com/es/recursoseducativos/888274/print/prueba_tipo_icfes_movimiento_armonico_simple.htm#!) Accedido el 15 de marzo de 2017.
- García Barneto, A. y Bolívar Raya, J. P. (2008). Efecto de las simulaciones interactivas sobre las concepciones de los alumnos en relación con el movimiento armónico simple. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), 681–703.
- García Carmona, A. (2005). Situaciones sofisticadas en el aprendizaje de la física. Estrategias para su puesta en práctica en el aula. *Revista Iberoamericana de Educación*, 36(9), 1-12.
- Jiménez García, F., Calle, J. y Sánchez, J. (2016). Incidencia de la intervención didáctica en el aprendizaje de conceptos cinemáticos en estudiantes de Ingeniería de la UAM analizada desde sus ideas previas. *Revista Educación en Ingeniería*, 10(19), 26–38.
- Mortimer, E. (2000). *Lenguaje y formación de conceptos en la enseñanza de las Ciencias*. Madrid: A. Machado Libros.
- Otero, M. R., Greca, I. M. y Silveira, F. L. D. (2003). Imágenes visuales en el aula y rendimiento escolar en Física: un estudio comparativo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(1), 1–30.
- Salinas, J., Cudmani, L., y Pesa, M. (1996). Modos espontáneos de razonar: análisis de su incidencia en el aprendizaje del conocimiento científico a nivel universitario básico. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, 209-220.
- Santos Benito, J., Martí, A. y Selva, V. (2005). Recursos para la enseñanza del péndulo simple: imágenes, mediciones, simulaciones y guías didácticas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 22(2), 165–189.
- Shama, G. (1998). Understanding Periodicity as a Process with a Gestalt Structure. *Educational Studies in Mathematics*, 35, 255-281.
- Slisko, J. (2013). Errores comunes en problemas numéricos de la física escolar. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 14, 87-98.
- Téllez, L. S. y Osorio, F. C. (2010). Modelación Graficación, una categoría para la matemática escolar. Resultados de un estudio socioepistemológico. *RELIME Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 13(4), 319-333.

Viennot, L. (1989). La didáctica en la enseñanza superior ¿para qué? *Enseñanza de las Ciencias*, 7(1), 3-13.

Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 201-221.

Vinner, S. (1991). The Role of Definitions in the Teaching and Learning of Mathematics. En Tall, D. (Ed.), *Advanced Mathematical Thinking*. Dordrecht: Kluwer, 65-81.

Vygotsky, L. S. (1995). *Pensamiento y lenguaje*. Barcelona: Paidós.

## ANEXO

Mafalda se divierte hamacándose en un columpio. Al analizar el movimiento de ida y vuelta en la hamaca desde el punto de vista de la Mecánica Clásica, se llegaría a la conclusión de que se trata de un *Movimiento Oscilatorio*.



Para poder hacer tal análisis, se podría comenzar realizando un esquema simplificado tal como el de la Figura 1.

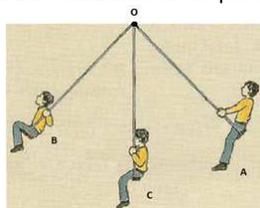


Figura 1

Así, se podría inferir que el movimiento de la persona más su asiento (el sistema) se realiza de manera periódica alrededor de un punto fijo (O), pasando por las posiciones extremas (A y B) y la de equilibrio (C). La cadena se considera como si fuese una cuerda inextensible y de masa despreciable.

Con el objeto de conocer cuáles son tus conocimientos sobre Movimiento Oscilatorio, te pedimos que respondas el siguiente cuestionario. (Aclaración: en las preguntas con opciones múltiples, marca con una cruz (x) la opción que consideres correcta).

1. Indica cuáles son las fuerzas presentes en las posiciones A y C de la Figura 1. Para ello te sugerimos que:

- Realices el diagrama de cuerpo libre del sistema (persona + asiento de la hamaca);
- Selecciones un sistema de coordenadas y de referencia conveniente;
- Apliques la 2ª ley de Newton para cada uno de los ejes asociados;
- Indiques la fuerza resultante que actúa sobre el sistema.

Indica el grado de confianza que tienes en la respuesta dada (de 0 - confianza nula - a 10 - confianza plena -).

2. Representa gráficamente la fuerza resultante de la pregunta anterior, en función del tiempo.



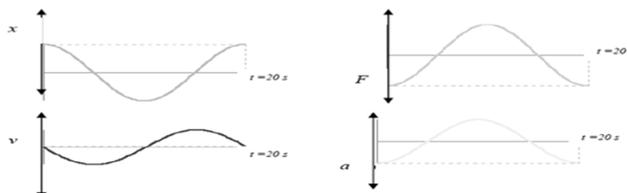
Indica el grado de confianza que tienes en la respuesta dada (de 0 - confianza nula - a 10 - confianza plena -).

9. El movimiento de un sistema que realiza oscilaciones alrededor de cierta posición de equilibrio con presencia de fricción puede considerarse como:

- Oscilatorio periódico                      - Oscilatorio periódico amortiguado
- Oscilatorio no periódico amortiguado - No lo puedo explicar
- Oscilatorio no amortiguado

Indica el grado de confianza que tienes en la respuesta dada (de 0 -confianza nula- a 10 -confianza plena-).

10. Considera las gráficas siguientes, donde se representan la posición (x); fuerza (F); velocidad (v) y aceleración (a) en función del tiempo, para un intervalo de 20 segundos:



Marca – usando las letras A; B; y C – en cada una de las cuatro gráficas anteriores, los instantes:

A.  $t = 0$  B.  $t = t/4$  C.  $t = t/2$

Indica el grado de confianza que tienes en la respuesta dada (de 0 -confianza nul - a 10 -confianza plena-).

12. Si una persona que se está hamacando decide no impulsarse más - para lo cual se queda quieta en el asiento - , indica de manera resumida cómo será su movimiento.

Indica el grado de confianza que tienes en la respuesta dada (de 0 - confianza nula - a 10 - confianza plena -).