

¿Por qué los estudiantes de ingeniería cuando cursan Física I no recuperan el uso de unidades estudiado y trabajado en instancias anteriores?

Patricia Torroba^(1,2) y María de las Mercedes Trípoli^(1,3)

¹IMApEC, Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, UNLP

²patricia.torroba@gmail.com

³mercedes.tripoli@gmail.com

² Correo electrónico para la notificación de la evaluación: mercedes.tripoli@gmail.com

Resumen

Este trabajo es el inicio de una investigación vinculada al uso de las unidades de medida en la formación académica de futuros ingenieros. La investigación parte de la observación en el aula de Física I sobre el “manejo insuficiente” que tienen los estudiantes al momento del uso y el análisis de las unidades de medida en las situaciones físicas que se plantean. Algunos indicios estarían indicando que no todos aquellos alumnos que ingresan a la universidad han estudiado en sus últimos años de la escuela media, las unidades de medida. Por otra parte, el material de estudio así como la bibliografía recomendada en la asignatura Matemática A, previa al inicio de Física I, no es muy rigurosa en el tratamiento del tema, y algunos docentes suelen no darle mucha importancia al tema de las unidades o no exigir que en las fórmulas se escriban las mismas en forma explícita. Se concluye sobre la necesidad de contar, para seguir con la investigación, con más material de análisis, por lo que se propone realizar encuestas a estudiantes y a docentes, así como hacer una revisión bibliográfica. Con lo recopilado se proyecta realizar una propuesta integral para el tratamiento del tema.

Palabras clave: unidades de medida; formación de ingenieros; matemática; física.

Introducción

El trabajo en conjunto que están desarrollando docentes del área de matemática y de física de la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), enmarcado en el Proyecto de Investigación y Desarrollo Acreditado de la UNLP: “Articulación en la enseñanza de las Ciencias Básicas en carreras de Ingeniería”, permite que se reflexione sobre el proceso de enseñanza y aprendizaje que se lleva a cabo en las aulas con los estudiantes (Devece, Di Domenicantonio, Torroba y Trípoli, 2015; Torroba, Devece, Trípoli y Aquilano, 2016; Torroba et al., 2017, Torroba y Trípoli, 2018). En las reuniones, entre otras cuestiones, se discute sobre diversos temas que tienen puntos en común en ambas disciplinas. Los diálogos y discusiones permiten poner a consideración algunas dificultades observadas en los estudiantes. En este trabajo, en particular, se presenta el inicio de una investigación vinculada al uso de las unidades de medida en la formación académica del ingeniero.

Física I es la primera asignatura de física que cursan los alumnos que ingresan a la FI y corresponde al segundo semestre de los planes de estudio de las carreras. En el aula de clase de dicha asignatura, se observa que los alumnos no recuperan el manejo de las unidades que supuestamente fueron trabajadas por ellos anteriormente. Durante la escolaridad obligatoria, en el nivel inicial, primario y medio, el tema de la medida, unidades y magnitudes se va desarrollando y complejizando a medida que los alumnos van transitando la escuela. Ya en la FI, antes de ingresar a Física I, todos los estudiantes tuvieron que haber cursado y aprobado Matemática para Ingeniería (Curso e Ingreso en donde se repasan contenidos estudiados en el nivel medio) y Matemática A, asignatura cuyo eje conceptual es el cálculo diferencial en una y varias variables, y donde se presentan problemas de aplicación en los cuales las unidades deben estar presentes.

Es un hecho, por lo tanto, que los estudiantes han trabajado con las unidades antes de ser alumnos de Física I, entonces la inquietud que surge es por qué no recuperan el uso de las unidades estudiado y trabajado en instancias anteriores, siendo este interrogante el objetivo general de este trabajo.

La importancia de las unidades de medida

Es clara la necesidad en la vida cotidiana de la utilización de las unidades de medida ya que “medimos” todo el tiempo: cuánto vamos a tardar para llegar al trabajo, qué cantidad de azúcar le ponemos al café, cuánto mide el colchón para la cama que compramos, cuánta pintura vamos a necesitar para pintar una determinada pared. Es

necesario explicitar que la medida a la que hacemos referencia tiene implícita una unidad de medida, no es lo mismo tardar 15 minutos para ir al trabajo que 15 horas.

Ahora bien, en actividades más específicas que tienen que ver con el trabajo de un ingeniero, desde el diseño de un tornillo hasta la construcción de un avión, las unidades de medida son esenciales. Un ingeniero se dedica a realizar las tareas que conducen a modelar las posibles soluciones a un problema ingenieril, es por ello que debe tener que realizar distintos tipos de cálculos matemáticos. La importancia de las unidades de medida en ingeniería tiene que ver con que la misma es una actividad que debe ser lo más exacta posible o de lo contrario podría ocasionar problemas a la calidad y exactitud de los procesos que este requiera. De hecho, existen eventos importantes a nivel mundial que han salido mal y han sido catastróficos, estando involucradas en los desperfectos las unidades de medida. Por ejemplo Ciencia BBC Mundo (2014) y Reina (2013):

- El orbitador del clima de Marte fue diseñado para orbitar Marte como el primer satélite meteorológico interplanetario. Se estrelló porque el equipo de la NASA utilizó el sistema anglosajón de unidades (que utiliza medidas como las pulgadas, millas o galones) mientras que uno de los contratistas utilizó el sistema métrico decimal (que se basa en medidas como el metro, el kilo o el litro).
- En 1628 se produjo el hundimiento del buque de guerra Vesa, en Suecia, a menos de dos kilómetros de la costa y en su viaje inaugural, donde murieron 30 tripulantes. Era considerado el barco de guerra más poderoso del mundo. Los expertos que lo estudiaron dicen que la nave era asimétrica: más gruesa a babor que a estribor. Una razón para esto podría ser que los obreros que la construyeron utilizaron diferentes sistemas de medidas. Los arqueólogos han encontrado cuatro reglas usadas por los constructores, dos estaban calibradas en pies suecos, que tenían 12 pulgadas, mientras que otras dos medían pies de Ámsterdam, con 11 pulgadas.
- En 1983 un vuelo de la compañía Air Canadá se quedó sin combustible cuando volaba sobre el pueblo de Gimli, en la provincia de Manitoba. Canadá había cambiado al sistema métrico decimal en 1970, y el avión había sido el primero de Air Canadá en usar medidas métricas. El calibrador de combustible a bordo del avión no estaba funcionando, por lo que la tripulación utilizó un tubo para medir cuánto combustible había cargado al repostar. La complicación surgió cuando convirtieron estas mediciones de volumen en medidas de peso, tenían el número

correcto, pero mal la unidad al confundir libras de combustible por kilogramos.

Como resultado, el avión llevaba alrededor de la mitad del combustible que creían.

Por suerte, el piloto fue capaz de aterrizar la aeronave en la carretera de Gimli.

Esta importancia se puede observar en la existencia del Sistema Internacional de Unidades (SI) en el cual a partir de siete de ellas, unidades básicas, se definen otras unidades llamadas derivadas, que sirven para expresar los valores de todas las magnitudes empleadas para caracterizar las propiedades de los objetos y fenómenos de la naturaleza. Dicha derivación se hace a partir de relaciones que se establecen de modo arbitrario o que responden a leyes físicas (Herrera y Hernández, 2000; Oficina Internacional de Pesas y medidas, 2006)

Origen de las dificultades en el manejo de las unidades

Como ya se mencionó previamente, lo que sucede en Física I con mayor frecuencia, tanto en la instancia de las evaluaciones como durante las cursadas, es que a lo largo de la construcción de la solución de los ejercicios propuestos, los estudiantes reemplazan los valores numéricos en las variables sin acompañarlas con las correspondientes unidades y hallan el resultado sin ahondar si las unidades son válidas, lo que podría deberse a una dificultad en asociar unidades con cantidades físicas, en concordancia con Khandelwal y Pitchard (1990). Como menciona Domènech Casal (2014), “más que problemas de cálculo, el alumnado tiene dificultades para aplicar al mundo real o extraer de él, magnitudes y unidades” (p. 398). Otras situaciones en la que muestran dificultad surgen cuando tienen que realizar un cambio de unidades. Por ejemplo, cuando se da como dato la densidad del agua expresada en g/cm^3 y necesitan emplearla en kg/m^3 . Romer (1999) había reportado en uno de sus trabajos estas dificultades, en referencia a la utilización de diversos sistemas de unidades y transformaciones entre uno y otro.

Manifestadas estas dificultades, lo que se está buscando es indagar sobre el origen de las mismas, considerando que los estudiantes ya han tenido contacto con las unidades y lo que no logran, en la clase de física, es recuperar el manejo de ellas. El aprendizaje del alumno depende de la estructura cognitiva previa que se relaciona con la nueva información entendiendo estructura cognitiva al conjunto de conceptos, ideas que un individuo posee en un determinado campo del conocimiento, así como su organización (Ausubel, Novak y Hanesian, 1976). Como menciona Moreira (1997), uno de los objetivos de la articulación en la enseñanza es que los estudiantes, en el tránsito por las

asignaturas de la carrera, les otorguen significado a los nuevos conceptos conectándolos con los ya existentes y estos, a su vez, modifiquen y reestructuren aquellos.

Si nos detenemos en la escolaridad obligatoria y se hace un recorrido por los Diseños Curriculares de los distintos niveles educativos como lo son el inicial, primario y secundario, se puede observar la relevancia que tiene la medida y sus unidades para la enseñanza. Por ejemplo, en el actual Diseño Curricular de la provincia de Buenos Aires para el nivel inicial, la medida es uno de los tres bloques sobre los que se organiza la enseñanza de la matemática, como así también en el primer y segundo ciclo de la escuela primaria. Al terminar la misma, se espera que los alumnos puedan resolver problemas que impliquen determinar el área de figuras usando como unidad el cm^2 y el m^2 . Además, usar equivalencias entre m^2 ; cm^2 , km^2 y ha en la resolución de problemas. Durante los tres primeros años de la escuela secundaria, que es común para todos los alumnos, Geometría y Magnitud es uno de los cuatro ejes en los que se estructura la enseñanza de la matemática. En los años superiores del nivel medio, no se observa de forma explícita, aunque sí se trabaja el concepto en algunos de los ejes temáticos. Asimismo, se puede observar que en el diseño curricular de Introducción a la Física de 4to año (materia común a todas las orientaciones) se estudian los sistemas de unidades. Ya en 5to y 6to año no hay física en todas las orientaciones.

Con respecto a Matemática A, es una asignatura en la cual trabajan muchos docentes, repartiendo sus tareas en las distintas comisiones de alrededor de 70 alumnos, que a lo largo de todo el año suman 24 (con 4 docentes por comisión, en la mayoría de ellas). Cuenta, de esta manera, con una diversidad de profesionales: matemáticos, físicos, ingenieros, profesores de matemática, profesores de matemática y física, astrónomos, geofísicos. Muchas veces en las clases de matemática los docentes no motivan a los estudiantes a utilizar las unidades de medida a la hora de resolver situaciones problemáticas. Docentes de matemática (específicamente matemáticos) suelen no darle mucha importancia al tema de las unidades o no exigir que en las fórmulas se escriban las mismas en forma explícita. De todas maneras, no se ha realizado una investigación formal sobre la totalidad de los docentes por lo que no se cuenta, hasta el momento, con dicha información. Sin embargo, la asignatura cuenta con un material de estudio (Módulo I Material teórico – práctico, 2018 y Módulo II Material teórico - práctico, 2018) que sirve como guía de las clases tanto para los estudiantes como para los docentes. Se considera, por lo tanto, que el material es una fuente importante de dónde sacar información como inicio de la investigación que se ha comenzado a realizar.

A lo largo de dicho material, se presentan ejemplos, actividades y ejercicios en donde las magnitudes involucradas corresponden a unidades de medida de tiempo, longitud, área, volumen, velocidad, aceleración, entre otras. De todas maneras, los ejercicios de aplicación no son muchos, se presentan algunos para ver la utilización de la matemática en algún contexto real, para que los estudiantes vean que es una herramienta que se utiliza en aspectos de la vida cotidiana, y vinculada con la ingeniería.

Se eligieron, para mostrar en este trabajo, algunas de las presentaciones donde se puede analizar el abordaje de las unidades de medida.

1) A modo de introducir las funciones a trozos se presenta el siguiente ejemplo, (Figura 1):

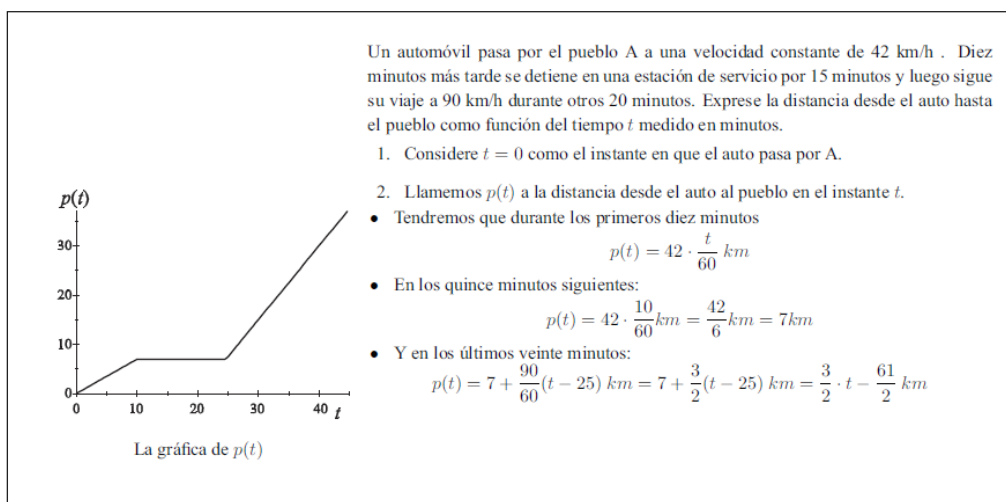


Figura 1. Ejemplo introductorio sobre funciones a trozos.

Considerando que una de las habilidades que los estudiantes deben adquirir es la interpretación de gráficos (en Física I es uno de los objetivos), consideramos que sería conveniente que se indiquen, en cada eje, las unidades correspondientes. En este caso rotular el eje de la variable independiente como t (minutos) y el de la dependiente como p (kilómetros).

Con respecto a la expresión $p(t) = 42 \cdot \frac{t}{60} \text{ km}$ durante los diez primeros minutos: ¿por qué aparece ese 60?, ¿qué unidades tiene?, ¿está bien que el resultado sea en kilómetros?, ¿se lo cuestionan los alumnos? Surgen interrogantes similares durante todo el desarrollo del ejemplo.

2) Al iniciar la Unidad 2: Derivadas, se motiva el estudio del tema variación total y variación media con una actividad que se muestra en la Figura 2:

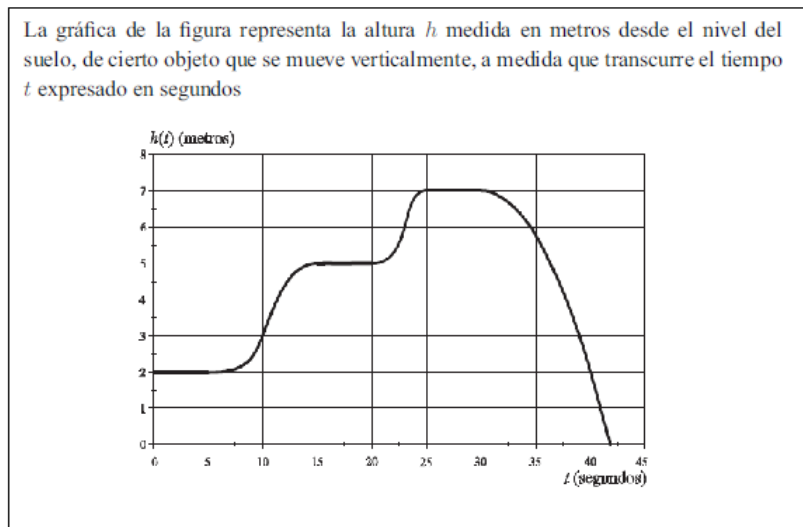


Figura 2. Actividad introductoria de la Unidad 2.

Se puede observar que se rotulan los ejes coordenados indicando las unidades correspondientes, en contradicción con el ejemplo presentado anteriormente.

En los incisos 2, 3 y 4 se plantean algunos interrogantes (Figura 3). Se puede observar que en el inciso 2 se explicitan las unidades de medida, mientras que en los siguientes incisos sólo se escribe el valor numérico de la variable.

2. ¿Es cierto que la velocidad del objeto entre $t = 5s$ y $t = 15s$ fue de $0.3m/s$? Justifiquen su respuesta.
3. Cuándo consideran ustedes que el objeto se movía más rápido ¿en $t = 10$ ó $t = 23$? Justifiquen su respuesta.
4. ¿Cómo harían para estimar la velocidad del objeto en $t = 35$? ¿Y en un t cualquiera?

Figura 3. Incisos 2, 3 y 4 de la actividad introductoria de la Unidad 2.

- 3) Dentro de la Unidad 2, entre los ejercicios para practicar, se propone uno cuya consigna comienza de la siguiente manera: la concentración de cierto fármaco en el flujo sanguíneo t horas después de ser inyectado por vía intravenosa es $C(t) = \frac{300t}{27+t^3}$. En la expresión anterior, no se explicita la unidad de medida de la concentración del fármaco. Una de sus consecuencias es que no se puede analizar si la fórmula es correcta considerando las dimensiones de las variables involucradas. Luego, en uno de los incisos, se pregunta cuándo administrar la siguiente dosis si se sabe que para ser efectivo el tratamiento la concentración del fármaco no debe ser inferior a 11, donde la duda es, ¿inferior a 11 qué?
- 4) Como ejemplo de vectores y algunas de sus propiedades, se muestra el siguiente ejemplo (Figura 4):

1. En cierto lugar la velocidad del viento es de 30 km/h desde la dirección sudeste. Si pensamos la dirección del viento como un vector ¿Cuáles serán sus componentes?

Para responder, instalamos un sistema de ejes cartesianos en el cual situamos los puntos cardinales en la manera usual (ver al margen).

Si \mathbf{v} es el vector que representa la velocidad del viento, por el enunciado tendremos que $|\mathbf{v}| = 30$. Además, la dirección de \mathbf{v} es la de la bisectriz del cuadrante II, de manera que el argumento de \mathbf{v} será $\pi/2 + \pi/4 = 3\pi/4$. En consecuencia:

$$\mathbf{v} = 30 \langle \cos 3\pi/4, \sin 3\pi/4 \rangle = 30 \left\langle -\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2} \right\rangle = \langle -15\sqrt{2}, 15\sqrt{2} \rangle$$

Figura 4. Ejemplo sobre el uso de vectores.

No se indican las unidades de medida del vector que representa la velocidad del viento ni de su módulo. Sin embargo, en un ejemplo que aparece inmediatamente después, se expresa el módulo de un vector (rapidez en el contexto del problema) con su unidad de medida, aunque no, en el vector velocidad. Se observa, de esta manera, contradicciones en la escritura de las unidades de medida.

- 5) Dentro del tema Movimiento en el espacio. Funciones a valores vectoriales, se propone realizar el ejercicio que se muestra en la Figura 5. Lo que se observa es que no se mencionan unidades de medida a lo largo de toda la consigna, siendo un ejercicio de aplicación.

Consideren las siguientes ecuaciones paramétricas:

$$\begin{cases} x = 5 \cos 2t \\ y = 5 \sin 2t \end{cases}$$

1. ¿Qué tipo de movimiento describen en el plano?
2. ¿Cuál es la función de posición?
3. Calculen la velocidad y la aceleración.
4. ¿Son ortogonales la posición y la velocidad? ¿La aceleración apunta hacia el centro de la circunferencia? ¿Cómo dependen ambas del coeficiente 5? ¿Y del 2?

Figura 5. Ejercicio sobre movimiento en el espacio.

Asimismo, se consultaron dos de los libros que están en la bibliografía recomendada y se encontraron situaciones similares a las mencionadas anteriormente. En Stewart (1999), en la sección correspondiente a movimiento en el espacio, en donde los conceptos de vectores se aplican a partículas que se mueven en el espacio a medida que pasa el tiempo, aparecen los conceptos de velocidad, aceleración y rapidez, en donde las unidades de medida no se explicitan en todos los ejemplos. En Thomas (2006), además de lo anterior, en la sección sobre cómo modelar el movimiento de un proyectil, se

nombran magnitudes físicas como son la fuerza, velocidad, aceleración y rapidez sin asignarles unidades de medida.

Por supuesto el material de estudio es una guía de trabajo, lo cual no significa que la clase sea un reflejo de eso, pero es lo común a toda la materia (así como la bibliografía recomendada). Las clases dependerán del tipo de tareas que el docente realice, lo que diferenciará cualitativamente sus prácticas.

Conclusiones y acciones a futuro

Que los alumnos presentan dificultades al trabajar con las unidades de medida, no sólo en la operatoria sino en no considerar las unidades de medida en las expresiones que utilizan en clases de Física I, fue el motivo de inicio de esta investigación. En la búsqueda por el origen de estas dificultades, se detectaron algunos indicios que podrían influir en las mismas: por un lado, que no todos aquellos alumnos que ingresan a la universidad han estudiado en sus últimos años de la escuela media las unidades de medida; y por el otro, el material de estudio analizado donde no se observa un uso riguroso de las unidades de medida al igual que en la bibliografía específica de matemática mencionada.

De todas maneras, son sólo indicios. Los próximos pasos, para poder avanzar en la investigación, será contar con más herramientas de análisis. Para ello consideramos necesario realizar pruebas diagnósticas a los estudiantes al comienzo de Matemática A y también de Física I, encuestas a docentes de matemática y de física. Asimismo, realizar un estudio más profundo de libros de matemática.

En una instancia posterior, se plantea realizar una propuesta integral con actividades que muestren la necesidad de utilizar unidades de medida por estar relacionadas con magnitudes físicas y con problemas ingenieriles, para ser trabajada en las clases de matemática. El trabajo interdisciplinar permitirá realizar un conjunto de acciones y propuestas de trabajo acordes a los estudiantes de ingeniería, con el propósito que, desde sus inicios en la carrera, los estudiantes cuenten con un manejo eficiente de las unidades de medida. Siguiendo a Mendible y Ortiz (2007), no debe caerse en un docente que tienda a comunicar una matemática, “con cálculos ilustrados por lo general en los ejemplos descritos en los libros de texto, con la satisfacción ofrecida al estudiante, de conocer el método, aun cuando no haya elaborado un camino que pueda ensayar por su cuenta” (p. 138), alejando al alumno de la realidad profesional que enfrentará en el

futuro, “apartándolo de posibles herramientas cognitivas, mentales, operativas y creativas de solución” (Mendible y Ortiz, 2007, p. 138).

Asimismo, se considera importante destacar de la matemática su fuerte contenido utilitario, como herramienta auxiliar para otras áreas del conocimiento como lo es la ingeniería y para múltiples ámbitos de la vida.

Referencias bibliográficas

Argentina. Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires.

(2010). *Diseños curriculares*. Recuperado el 5 de marzo de 2019 de:

<http://servicios.abc.gov.ar/lainstitucion/organismos/consejogeneral/disenioscurriculares/>

Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H (1976). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. (vols. 3). México: Trillas.

Ciencia BBC Mundo. (2014). 10 grandes errores de cálculo de la ciencia y la ingeniería.

Recuperado el 9 de noviembre de 2018 de:

https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/05/140523_ciencia_diez_errores_de_calculo_np

Devece, E., Di Domenicantonio, R., Torroba, P. y Trípoli, M. (2015). Experiencia de articulación entre Matemática A y Física I. *Actas IV Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación*. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. La Plata. Universidad Nacional de La Plata.

Domènech Casal, J. (2014). ¿Cómo lo medimos? Siete contextos de indagación para detectar y corregir concepciones erróneas sobre magnitudes y unidades. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(3), 398-409.

Herrera, J. y Hernández, A. (2000). Un enfoque transdisciplinar para enseñar a medir magnitudes físicas a los estudiantes de ingeniería geológica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8 (2), 136-141.

Khadelwal, G. S. y Pritchard, W. M. (1990). Teaching units. *The Physics Teacher*, 28 (5), 300.

- Mendible, A. y Ortiz, J. (2007). Modelización Matemática en la Formación de Ingenieros. La Importancia del Contexto. *Enseñanza de la Matemática*, 12, 133-150.
- Módulo I Material teórico – práctico. (2018). Matemática A. Fac. de Ingeniería. UNLP.
- Módulo II Material teórico – práctico. (2018). Matemática A. Fac. de Ingeniería. UNLP.
- Moreira M. A. (1997). Aprendizaje significativo. Un concepto subyacente. *Actas del II Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo*. Burgos, España
- Oficina Internacional de Pesas y Medidas. Organización Intergubernamental de la Convención del Metro. (2006). *El Sistema Internacional de Unidades SI*. (8ª ed. y 2ª ed. en español 2008 del Centro Español de Metrología). Recuperado el de 9 de noviembre de 2018 de: <https://www.cem.es/sites/default/files/siu8edes.pdf>
- Reina, D. M. (2013). La importancia de las unidades de medida. *La Aventura de la Ciencia*. Recuperado de 9 de noviembre de 2018 de:
<http://laaventuradelaciencia.blogspot.com/2013/09/la-importancia-de-las-unidades-de-medida.html>
- Romer, R. H. (1999). UNits-SI Only, or Multicultural Diversity? *Ameriacan Journal of Physics*, 67(1), 13-16.
- Stewart, J. (1999). *Cálculo. Conceptos y contextos*. Colombia: Thomson.
- Thomas, G. B. (2006). *Cálculo. Varias variables*. México: Pearson.
- Torroba, P., Devece, E., Trípoli, M. y Aquilano, L. (2016). “Una propuesta didáctica que articula contenidos de matemática y física”. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28 (Número Extra: Selección de Trabajos presentados a SIEF), 91-99.
- Torroba, P., Devece, E., Trípoli, M. y Aquilano, L. (2017). Magnitudes vectoriales: una propuesta didáctica para articular matemática y física. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29 (Número Extra: Selección de Trabajos presentados a REF), 305-313.
- Torroba, P. y Trípoli, M. (2018). Investigación sobre propuestas didácticas que incorporan actividades de articulación interdisciplinaria. *Revista de Enseñanza de la Física*, 30 (Número Extra: Selección de Trabajos presentados a SIEF), 235-240.

