

Resolución de problemas ingenieriles en clases de Física. Categorización del modelo de procedimiento de resolución

Engineering problem solving in physics class.
Categorizing the resolution procedure model

María Montero¹, Yesica Inorreta² y Bettina Bravo³

¹Instituto de Formación Docente N°22 “Adolfo Alsina”, Ayacucho 2418, Olavarría Buenos Aires, Argentina.

²Facultad de Ingeniería de Olavarría (FIO), Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Av. Del Valle 5737, CP 7400, Olavarría, Buenos Aires, Argentina.

³CONICET - Facultad de Ingeniería (FIO), Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Av. Del Valle 5737, CP 7400, Olavarría, Buenos Aires, Argentina.

E-mail: kumontero@gmail.com

Resumen

Este trabajo es parte de una investigación más amplia cuyo propósito es identificar categorías que representen los modelos de procedimientos de resolución de problemas del tipo ingenieriles e indefinidos, que implementan estudiantes de carreras de ingeniería, en el contexto de clases de Física. Se analizaron minuciosamente las resoluciones que realizaron, trabajando grupalmente, estudiantes de Física I de la Facultad de Ingeniería de la UNCPBA, al resolver un problema que implica dimensionar la grúa- torre que podría haberse usado para realizar un trabajo real y concreto (izar la réplica de la piedra movediza de la ciudad de Tandil). Dicho análisis consistió en identificar las estrategias implementadas en las distintas etapas que, según el marco teórico de referencia, involucra la resolución de un problema. Los datos obtenidos permitieron vislumbrar distintos niveles de desarrollo de la competencia de resolución de problemas, pudiéndose categorizar a la mayoría en un estado “intermedio”, caracterizado por la falta de estrategias inherentes al análisis y selección criteriosa de datos y la ausencia de la autoevaluación de procedimientos implementados y resultados obtenidos. Lo hallado da indicios de qué aspectos debería fortalecer la enseñanza a fin de optimizar el desarrollo de competencias deseado

Palabras clave: Problemas ingenieriles e indefinidos; Modelo de procedimiento de resolución; Innovación didáctica; Enseñanza de la Física.

Abstract

This work is part of a wider research with the purpose of identifying categories that represent the resolution procedure models of undefined engineering problems, which are implemented by engineering students, within the context of physics class. A thorough analysis was done over the results the resolutions obtained during group work done by students of Physics I at Engineering Faculty from Unicen while solving a problem that involved the scaling of the tower-crane which could have been used in a definite and real work (raising the replica of the moving stone of Tandil city). The analysis consisted on the identification of the strategies implemented in the different stages which are, according to the reference theoretical framework, involved in the resolution of problems. The data obtained allowed to envisage different levels of development of the solving problems competence, being able to categorize the majority in an “intermediate” level characterized by the lack of strategies related to the analysis and criteria’s

selection of data and the absence of self-assessment of both the implemented procedures and the results obtained. The findings indicate which aspects should teaching strengthen to optimize the development of the intended competencies.

Keywords: Undefined engineering problems; Resolution procedure model; Didactic innovation; Physics teaching.

I. INTRODUCCIÓN

El *presente* siglo se caracteriza especialmente por los rápidos, constantes y vertiginosos avances científicos y tecnológicos. Coincidiendo con Pozo y Monereo (2009) *“el ritmo de estos cambios hace casi imposible prever qué conocimientos específicos tendrán que saber nuestros estudiantes dentro de diez o quince años para poder afrontar las demandas que el ejercicio de su profesión les reclame”*. Ante esta realidad, parece imprescindible que los alumnos universitarios no sólo conozcan y comprendan los conocimientos básicos y específicos vinculados con su futuro quehacer profesional, sino también que sepan utilizarlos de manera estratégica y competente en contextos sociales y profesionales complejos, inciertos y en continuo cambio (Pozo y Pérez Echeverría, 2009). Desde esta perspectiva, la sociedad actual exige a la Universidad no sólo la formación profesional (saber), sino también, la dotación de competencias profesionales (saber hacer) a sus egresados, que favorecerá el desarrollo de profesionales más críticos, reflexivos, gestores del conocimiento y capaces de adaptarse y responder a las demandas cambiantes y flexibles del ejercicio profesional.

En correlación con esto, el CONFEDI (Consejo Federal de Decanos de Ingeniería) acordó en el año 2006 un nuevo paradigma en la formación de los futuros ingenieros: *“hay consenso en cuanto que el ingeniero no sólo debe saber, sino también saber hacer. El saber hacer no surge de la mera adquisición de conocimientos, sino que es el resultado de la puesta en funciones de una compleja estructura de conocimientos, habilidades, destrezas, etc. que requiere ser reconocida expresamente en el proceso de aprendizaje para que la propuesta pedagógica incluya las actividades que permitan su desarrollo”* (CONFEDI, 2014). Atendiendo a ello, en el año 2018 se establecieron los *“Estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de Ingeniería en la República Argentina”* (CONFEDI, 2018), los que se fundamentan en un modelo de aprendizaje centrado en el estudiante y un enfoque basado en competencias y descriptores de conocimiento.

Adoptando la definición propuesta por el CONFEDI se entiende por competencia a la *“capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes, en un determinado contexto con el fin de resolver situaciones profesionales”*. Esta definición nos señala que las competencias aluden a capacidades complejas e integradas que se relacionan con un saber teórico, contextual y procedimental (formalizado y empírico), que en conjunto contribuyen a que los futuros profesionales se desempeñen de manera competente y socialmente comprometida. Entre las competencias tecnológicas vinculadas a las competencias profesionales comunes a todos los ingenieros se destaca aquí, la competencia de identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.

II. MARCO TEÓRICO

Se entiende aquí por problema a una situación que presenta una oportunidad para poner en juego los esquemas de conocimiento de los individuos que se prestan a resolverlo y, por otro lado, exige una solución para la cual no se conocen medios o caminos evidentes y en la que se deben hallar interrelaciones expresas y tácitas entre un grupo de factores o variables. Esto implica la reflexión cualitativa, el cuestionamiento de las propias ideas, la construcción de nuevas relaciones, esquemas y modelos mentales, es decir la elaboración de nuevas explicaciones que constituyen la solución al problema implicando una reorganización cognitiva, involucramiento personal y desarrollo de nuevos conceptos y relaciones generando motivación e interés cognitivo (García García y Rentería Rodríguez, 2012).

Los estudiantes de ingeniería a lo largo de su formación deberían aprender a resolver *problemas ingenieriles*, problemas que atiendan a situaciones y contextos reales relacionados con su futuro perfil profesional y que (adoptando la definición de Truyol y Gangoso, 2010) estén planteadas de forma indefinida. Los problemas indefinidos, son aquellos que requieren para su resolución un proceso mediante el cual la persona involucrada en solucionarlo comprende la situación y genera una representación interna que le permite entablar una discusión y establecer predicciones cualitativas. Los enunciados de estos problemas carecen de toda la información necesaria para llegar a la solución e implican que quienes los resuelvan se planteen objetivos para obtener la solución requerida, por lo que las soluciones a las que se arriban se pueden construir por diferentes caminos.

Más allá del tipo de problemas, su resolución requiere etapas comunes como: interpretar e identificar el problema; planificar y ejecutar un plan a seguir para resolverlo; evaluar el procedimiento empleado y resultados arribados, las cuales involucran diversas capacidades y estrategias que se sintetizan en la tabla 1 (CONFEDI,2014; Montero, Baumüller y Bravo, 2020; Poly, 1987; Pozo y Echeverría, 2009).

TABLA I. Etapas y capacidades involucradas en la resolución de problemas.

Capacidades desagregadas	Estrategias: aspectos asociados a las capacidades
Capacidad para identificar y formular problemas	Identificar una situación presente o futura como problemática; evaluar el contexto particular del problema e incluirlo en el análisis; delimitar el problema y formularlo de manera clara y precisa; identificar el objetivo de la tarea; incluir el problema en una categoría teórica; establecer relaciones entre los elementos involucrados y representarlas (de forma esquemática, coloquial y usando el lenguaje matemático); extraer información del enunciado (detectar datos explícitos e implícitos, reconocer los que resultan pertinentes para la resolución y los que faltan, identificar incógnitas).
Capacidad para realizar una búsqueda creativa de soluciones y seleccionar criteriosamente la alternativa más adecuada	Generar diversas alternativas de solución a un problema ya formulado; desarrollar criterios profesionales para la evaluación de las alternativas; seleccionar la más adecuada en un contexto particular; valorar el impacto sobre el medio ambiente y la sociedad, de las diversas alternativas de solución; realizar el diseño de la solución tecnológica, incluyendo el modelado; incorporar al diseño las dimensiones del problema (tecnológica, temporal, económica, financiera, medioambiental, social, etc.) que sean relevantes en su contexto específico.
Capacidad para implementar tecnológicamente una alternativa de solución.	Planificar la resolución (identificar el momento oportuno para el abordaje, estimar los tiempos requeridos, prever las ayudas necesarias, etc.); optimizar la selección y uso de los materiales o dispositivos tecnológicos disponibles para la implementación; elaborar informes, planos, especificaciones y comunicar recomendaciones; controlar el proceso de ejecución. Elaborar predicciones; decidir el modelo teórico más adecuado; organizar los datos; buscar, seleccionar y procesar la información necesaria; seleccionar el método de resolución más adecuado y seguir la secuencia de resolución planificada.
Capacidad para controlar y evaluar los propios enfoques y estrategias para abordar eficazmente la resolución de los problemas	Controlar el propio desempeño y saber cómo encontrar los recursos necesarios para superar dificultades; establecer supuestos, de usar técnicas eficaces de resolución y de estimar errores; monitorear, evaluar y ajustar el proceso de resolución del problema; usar lo que ya se conoce: identificar lo que es relevante conocer, y disponer de estrategias para adquirir los conocimientos necesarios. Evaluar los resultados (a la luz de las predicciones y del marco teórico), el camino seguido y los logros obtenidos.

III. OBJETIVOS

Ante la situación descrita surgen algunos interrogantes como: ¿qué nivel de desarrollo de la competencia de resolución de problemas (y capacidades desagregadas) poseen los estudiantes del ciclo básico de las carreras de ingeniería? ¿en qué medida son capaces de resolver problemas ingenieriles en el contexto de una clase de Física? ¿qué obstáculos se les presentan al resolverlos? ¿cómo debería diseñarse la enseñanza de la carrera para ayudarlos a superar estos obstáculos? ¿cómo se podría favorecer desde el área de Física el desarrollo de competencias deseado? Intentando dar respuestas a estos interrogantes, desde hace unos años, y en el marco de un proyecto de investigación más amplio¹ en el cual se enmarca el presente trabajo, buscamos identificar las estrategias utilizadas por estudiantes de ingeniería al resolver en clase de Física problemas ingenieriles para inferir los modelos de procedimiento de resolución que emplean con mayor frecuencia y, en función de ello, definir el nivel de desarrollo de las capacidades relacionadas con la competencia resolución de problemas.

El objetivo de este trabajo en particular es hallar los modelos de resolución de problemas y el nivel de desarrollo de la competencia asociada que presenta un grupo de estudiantes de Física (asignatura del ciclo básico de todas las carreras de ingeniería que se dictan en la Facultad de Ingeniería de Olavarría, FIO) al resolver un problema ingenieril, especialmente diseñado en el marco de esta investigación.

¹Proyecto de I+D+i "La enseñanza y el aprendizaje de la física en carreras de ingeniería. En búsqueda de la superación de obstáculos físicos y matemáticos", reconocido por la FIO (Res. CAFI N° 291/18).

IV. LOS PROBLEMAS INGENIERILES

Desde el área de Física de la FIO (Facultad de Ingeniería de Olavarría), trabajando en forma cooperativa con especialistas de la ingeniería y de la comunicación diseñamos problemas ingenieriles a ser resueltos por los estudiantes de Física I (donde se aborda la Mecánica Clásica). Estos problemas, que se los enuncia de forma indefinida, involucran situaciones reales relacionadas con el perfil profesional de los estudiantes (acotado en función al estadio de la carrera en la que se encuentra la asignatura) como rediseñar la curva del paseo Dávila de Mar del Plata (donde ocurren reiterados accidentes); decidir (a partir del informe real de un perito) si se multa a un conductor que participó de un choque automovilístico; rediseñar las vías de ferrocarril en la cercanía de la ciudad de Frías, cuya dilatación produjo el descarrilamiento de una formación ferroviaria del Belgrano Cargas; dimensionar la grúa que podría haberse usado para izar la réplica de la Piedra Movediza en la ciudad de Tandil.

Estos problemas fueron planteados a los estudiantes al comienzo de las unidades temáticas (UT) de referencia (dinámica de una partícula; dinámica de un sistema de partículas; sólido rígido; principios básicos de termodinámica) con el fin de motivar el estudio de los contenidos asociados y para que puedan ser resueltos conforme avanzaba el abordaje de los contenidos conceptuales correspondientes. Para otorgar instancias donde los estudiantes pudiesen resolver de forma cooperativa el problema planteado y elaborar la comunicación de su resolución, bajo la guía del equipo docente, se reorganizó la distribución horaria de la asignatura, destinando 2 de las 10 horas semanales que demanda su abordaje, al desarrollo de talleres. El Aislamiento Social Obligatorio decretado para el período en el cual se desarrolló la Asignatura Física I obligó a convertir estos talleres en discusiones en foros virtuales.

En este trabajo se analiza la resolución a una de los problemas ingenieriles que elaboraron los estudiantes de Física I durante el ciclo lectivo 2020: el problema de la grúa.

A. El problema de la grúa

El problema *ingenieril* que aquí se comparte (cuyo enunciado se transcribe en la tabla II) está asociado a la UT de Sólido Rígido. Su resolución implica decidir las características que debería tener una Grúa Torre si se la hubiese deseado usar para realizar el izado de la réplica de la Piedra Movediza en el cerro tandilense.

TABLA II. Enunciado del problema desafío. Unidad temática: Sólido Rígido

Enunciado de problema	Modelo de la ficha
<p>La Piedra Movediza de Tandil fue una roca de granito que se localizaba en dicha ciudad bonaerense y que tuvo la particularidad de mantenerse en equilibrio al borde de un cerro hasta su caída definitiva, el jueves 29 de febrero de 1912. En mayo de 2017, y luego de 95 años, el Cerro La Movediza se coronó nuevamente, ya que se colocó en él una réplica de la famosa Piedra proyecto del cual participaron docentes – investigadores de la FIO (en el video disponible en https://www.youtube.com/watch?v=BsoURNJOAEw&t=14s está registrado parte del trabajo realizado). ¿Cuáles deberían ser las características de la Grúa Torre que podría haberse usado para izar la réplica de la piedra movediza? Completa la ficha adjunta indicando las dimensiones propuestas y elabora un informe técnico (destinado al ingeniero que guiará el trabajo de izado) justificando tu propuesta.</p>	<div data-bbox="1101 1136 1354 1436"> <p>TORRE GRÚA ></p>  <p>Altura de la torre: Longitud de la pluma: Carga máxima (en punta): Longitud de la contrapluma: Masa del contrapeso:</p> </div>

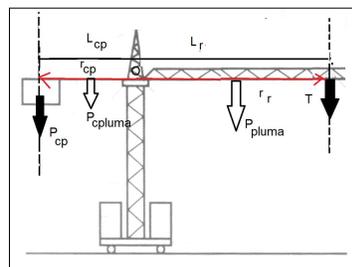
Cabe aclarar que en el proyecto real se usó una grúa pluma por ser la más adecuada para este tipo de trabajo (considerando la carga y el relieve, entre otros aspectos que pueden consultarse en Peralta et al, 2008). Aquí se propuso dimensionar una Grúa Torre no sólo para asegurarnos de que la solución del problema no esté publicada, sino también que la situación planteada pudiera ser resuelta haciendo uso de los contenidos abordados en la cátedra (en este caso equilibrio de sólido rígido).

A su vez, y dada la indefinición del enunciado planteado, los estudiantes deben realizar diversas tareas: la indagación sobre las características técnicas y funcionamiento de una grúa (y con ello acercamiento a saberes que “exceden” los de la asignatura de referencia); buscar datos en diversas fuentes, relacionarlos y contextualizarlos con la situación a analizar; establecer consideraciones y realizar aproximaciones (sobre el terreno, por ejemplo), para proponer una respuesta (que no será única) aplicando la vía de resolución que cada uno elija (que tampoco será necesariamente única).

En la tabla 3 se presenta una posible resolución, definida como *el referencial*, un modelo del procedimiento deseable para estudiantes del nivel educativo donde se resuelve el problema.

TABLA III. Modelo de procedimiento de resolución del problema de la grúa.

Interpretación de la situación e identificación de datos necesarios
<p><i>Identificar el objetivo de la tarea:</i> dimensionar una grúa capaz de elevar un objeto de gran tamaño y peso a la cima de un cerro.</p> <p><i>Incluir el problema en una categoría teórica:</i> Una grúa es un mecanismo de elevación de cargas, que se emplea para elevar y distribuir las cargas situadas en la parte del gancho o elemento de sujeción, a distintas alturas y posiciones de manera tal que permite manipular elementos de construcción fácilmente y con poco esfuerzo. La grúa torre es una herramienta de construcción, utilizada para elevar cargas y distribuir las en un radio de efecto definido por la pluma, las cargas van en un gancho montado en un carro que a su vez se desplaza a lo largo de la pluma. El principio físico básico que guía la fabricación (y en gran medida funcionamiento) de la grúa torre es el equilibrio de sólido rígido.</p> <p><i>Identificación del contexto:</i> el hipotético trabajo de izamiento se debería realizar en el cerro La Movediza, que se encuentra en las inmediaciones de la ciudad de Tandil, a 249 metros sobre el nivel del mar. Es una zona serrana con terreno irregular y rocoso.</p> <p><i>Reconocimiento del problema:</i> Se necesita conocer las características de la carga a elevar (peso, tamaño, forma...). Se necesita conocer la altura a la que se elevará la carga y la posición desde donde se puede acceder al procedimiento</p> <p><i>Establecimiento de relaciones entre los elementos involucrados, reconocimiento de datos e incógnitas:</i> El terreno delimitará la posición de la grúa. La posición a la que se instale la grúa determinará la distancia horizontal y vertical que la separará de la cima. La distancia horizontal grúa – cerro permitirá determinar la longitud del brazo de la pluma. La distancia vertical (nivel cero donde se asiente la grúa y la cima del cerro) determinará la altura mínima de la torre.</p>
Planificación y ejecución de plan a seguir
<p><i>Buscar, seleccionar y procesar la información necesaria:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Determinación de las características de la carga (masa y dimensiones geométricas): este es un dato directo que está disponible en diversas fuentes (académicas, divulgativas, informativas). 2) Determinación de la altura de izado: Este no es un dato directo y depende del lugar desde donde se establezca el nivel cero (que coincidirá con la ubicación de la grúa). Por ello este dato admite distintos niveles de construcción y precisión (en función, por ejemplo, de los datos sobre el terreno que se puedan obtener y procesar). Para el nivel académico en el que se plantea este problema, se admite como aceptable la estimación de la altura del cerro en función de los datos disponible en la Web (cantidad de escalones que se deben subir para llegar a la cima, altura del cerro sobre el nivel del mar) 3) Determinación de la distancia horizontal grúa/cima: Este tampoco es un dato directo y depende del lugar donde se pueda montar la grúa, en función del terreno rocoso. Este dato también admite distintos niveles de construcción. Para el nivel académico en el que se plantea este problema, se admite como aceptable el uso de <i>Google Maps</i> para localizar “blancos” donde la grúa podría montarse y estimar (escala mediante) la distancia horizontal grúa/cerro
<p><i>Seleccionar los métodos de resolución más adecuados para calcular los parámetros que caractericen a la grúa.</i></p> <p>Se reconocen dos vías para la selección de datos: 1) adoptar los parámetros de una grúa comercial y adecuar su montaje para poder realizar la tarea. 2) determinar/calcular los parámetros que deben caracterizar a la grúa en función del contexto (objeto a elevar y terreno donde realizar el trabajo) adoptar algunos parámetros de las grúas comerciales y determinar otros en función del contexto. Para elaborar este referencial se optó por esta vía de resolución, ya que sería la más adecuada al procedimiento del montaje real, implicando de este modo las capacidades y estrategias que implementaría un ingeniero en el ejercicio de su profesión.</p> <p>1) Carga máxima en punta: queda determinada por la masa de la réplica de la piedra movediza que se desea izar. 2) Altura de la torre: La altura mínima de la altura de la torre debe coincidir, como mínimo, con la altura de izado. Luego se deberá evaluar si hay grúas en el mercado con esas características o, cómo montar las existentes a las necesidades que demanda el contexto del problema. 3) Longitud de la pluma (L_p): la longitud de la pluma debe ser suficiente para cubrir la distancia horizontal grúa/cerro 4) Longitud de la contrapluma (L_{cp}): se considera la relación $L_{cp} = 0.35 L_p$ 5) Contrapeso: Para calcular este valor hay que plantear el estado de equilibrio de la grúa dimensionada, la cual puede modelarse como un cuerpo rígido que puede girar ante la presencia de fuerzas externas. Su equilibrio requiere que la fuerza y torque neto sean nulos. Según $\tau = r \times F = r \cdot F \cdot \text{sen} \theta$ (donde r distancia del eje al punto de aplicación de; F fuerza; θ ángulo entre la dirección de r y F). El planteo de torques según un eje que pase por el punto O y para un estado de equilibrio resulta ser $\sum \tau_0 = T \cdot L_r - L_{cp} \cdot P_{cp} = 0$. No se plantea el aporte del peso propio de la estructura por considerarlo inicialmente en equilibrio, por lo que la posibilidad de rotar se le atribuye a las cargas que soporta la estructura. Planteando la sumatoria de fuerzas sobre la réplica (y considerándola en equilibrio como a todo el sistema) obtenemos que la tensión T es igual al peso de la réplica. Reemplazando este resultado en la sumatoria de torques, y considerando que la piedra colgará del extremos de la punta ($L_{pluma} = L_r$) resulta $m_{cp} = \frac{(L_r \cdot m_p)}{L_{cp}}$</p>
Análisis de resultados
<p><i>Evaluar los resultados y supuestos realizados a la luz de lo que se conoce.</i> En función del camino seguido para determinar los parámetros de la grúa, se deberán realizar distintos análisis: 1) si se optó por una grúa comercial; se deberán evaluar los resultados a la luz del contexto indicando claramente donde deberá montarse la grúa para cumplir con el objetivo planteado. 2) si se construyeron los datos en función el contexto, se deberá analizar si existen en el mercado grúas con estas características que puedan realizar el trabajo o comparar las dimensiones propuestas con el de la grúa realmente usada para montar la réplica</p>



V. METODOLOGÍA

Siguiendo con la metodología empleada en estudios anteriores (Montero, Braunmüller y Bravo, 2020) se implementa una investigación exploratoria con el propósito de identificar las estrategias que utilizan los estudiantes al resolver un problema ingenieril y, a partir de ellas, el procedimiento empleado para finalmente definir el nivel de desarrollo de las capacidades de resolución de problemas que presentarían quienes los usan (al comparar el modelo empleado con el del referencial esperado)

A. Participantes

El problema ingenieril fue resuelto por los 60 estudiantes inscriptos a la asignatura, agrupados en 15 comisiones conformadas entre 3 y 5 integrantes. El tiempo destinado a la resolución de la problemática fue de tres clases (de 2 h de duración cada una) en las cuales se evacuaron las dudas de los estudiantes (respecto del marco teórico usado, la pertinencia de los datos seleccionados o calculados, la adecuación de los resultados obtenidos, las relaciones entre las dimensiones de la grúa y las condiciones del montaje). Dichas clases se llevaron a cabo virtualmente mediante foros, con encuentros sincrónicos entre los docentes y los estudiantes, disponibles en el aula virtual de Física I (anclada a la página oficial de la FIO <http://ead.fio.unicen.edu.ar/>), sitio donde se desarrolló toda la asignatura.

B. Fuentes de datos y criterios de análisis

Sobre las comunicaciones escritas que elaboraron los estudiantes se realizaron dos tipos de análisis: uno intra-comisión y otro inter-comisión. El primero implicó la identificación de estrategias utilizadas por los estudiantes para resolver el problema propuesto. Para ello, y teniendo en cuenta el referencial propuesto en la tabla III, se analizaron minuciosamente las respuestas escritas para determinar si fueron capaces de: identificar/interpretar el problema a resolver a partir del enunciado planteado (determinar las características de la Grúa Torre a usar para izar la réplica de la piedra movediza); identificar y hallar distintos datos (altura de izado, dimensiones de la carga, posible ubicación de la grúa en función de las características del terreno); elegir un marco teórico adecuado para interpretar el fenómeno (características y funcionamiento de una Grúa Torre – modelado de la misma como sólido rígido – condiciones de equilibrio de sólido rígido); relacionar los datos del problema con el contexto (para decidir altura de torre y longitud del brazo de pluma) y el marco teórico adoptado (para calcular longitud de contrapluma y masa de contrapeso). El análisis inter-comisión implicó estudiar comparativamente los resultados hallados en el análisis anterior a fin de agrupar respuestas similares, en cuanto al número y tipo de estrategias usadas y establecer categorías que representen el modelo de procedimiento de resolución empleado y, a partir de él, el nivel de desarrollo de las capacidades relacionadas. Este análisis de datos fue realizado de forma independiente por investigadores múltiples con el fin de acrecentar la validez del estudio.

VI. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Al analizar las producciones de las 15 comisiones que participan de este estudio se halla que todas pudieron dar una solución al problema planteado, llegando a un resultado que puede considerarse adecuado y pertinente.

Respecto a la *interpretación de la situación e identificación de datos* se halló que todos los grupos de estudiantes pudieron identificar el objetivo de la tarea y establecer de manera coherente la relación de la situación problemática con el *marco conceptual de la física*. En tal sentido, todos modelaron a la grúa como un cuerpo rígido que puede girar ante la presencia de fuerzas externas y cuyo equilibrio requiere que las fuerzas y torques externos netos sean nulos. Fue a partir del análisis de esta condición de equilibrio que todos los grupos determinaron la masa del contrapeso.

Respecto del reconocimiento del problema, si bien todas las comisiones identificaron la necesidad de conocer las características de la carga para poder dimensionar la grúa, no todas reconocieron la necesidad de conocer las características del terreno donde se debería montar la grúa para realizar el izado. Esto condujo a diferencias en la *planificación y ejecución del plan a seguir*. En tal sentido, sólo dos comisiones buscaron o construyeron los datos de contexto necesarios para resolver el problema: peso de la réplica y distancia grúa – cima del cerro. La diferencia entre estas comisiones radica en la fuente de datos usadas. Mientras que una de ellas utiliza como tal los datos brindados por fichas técnicas y las adapta al contexto, la otra construye los datos necesarios (realizando mediciones en *Google Maps*, tal como lo evidencia la figura 1 que adjuntan a su comunicación) y los vincula acertadamente con el dimensionamiento de la grúa. Así, los integrantes de esta comisión responden:

...para definir la Longitud de la pluma, medimos la distancia desde una vista aérea, del lugar donde será colocada la grúa hasta el punto de anclaje de la réplica, dicha distancia es 108 m, por lo tanto, concluimos que la longitud de la flecha será de 110 m; decidimos prolongarla dos metros ya que así nos aseguramos de una mayor precisión y seguridad. Cuanto más cerca esté la carga del centro de rotación, la grúa puede levantar el peso con mayor seguridad, por este motivo el gancho va a estar a 108 m.



FIGURA 1. Imagen de estudiantes determinado la distancia horizontal.

Por otra parte, se pudo observar que la mayoría de las comisiones (11 de 15) reconocen sólo dos de las variables involucradas en la situación problemática: la masa de la réplica y la altura del cerro. A partir de la determinación de la masa de la carga determinaron el peso máximo en punta de la grúa y a partir del dato de altura del cerro fijaron la altura de la torre.

Respecto del dato de longitud de la pluma, la mayoría de las comisiones (10/15) utiliza como tal la longitud empleada en el emplazamiento real, sin comparar las diferencias del tipo de grúa usado en dicho trabajo con la grúa torre que deben dimensionar. En tanto una comisión adopta el dato de grúas estandarizadas sin evaluar si la misma resulta útil para realizar el trabajo deseado en el contexto (terreno). Así esta comisión explica:

...se busca y selecciona una grúa torre, en la cual se conozca que soportará en su extremo la masa de la piedra y eventual equipo que se requiera para su elevación [...] con una masa total estimada de 16000 kg. En la siguiente ficha técnica (citan la página Web de donde toman el dato) se observa que una grúa de 50 metros de pluma, soporta en su extremo una masa de 16.300 kg. Con lo cual, se cubren las necesidades planteadas.

Por último, el estudio permitió identificar dos comisiones que sólo informaron los datos usados (Lp, Lcp y masa de carga) para calcular "su" incógnita (masa de contrapeso), sin comunicar criterios de selección de dichos datos o relación - adecuación de los mismos con el contexto.

El análisis realizado permite detectar tres modelos de resolución de problemas empleados por los estudiantes. El Modelo 1 se caracteriza por contemplar: a) identificación y delimitación adecuada del problema atendiendo al contexto vinculante; b) inclusión del problema en una categoría teórica pertinente; c) reconocimiento de las múltiples variables relacionadas con la situación y establecimiento de relaciones entre ellas; d) identificación de los datos necesarios y apropiada selección de fuentes o realización de cálculos; e) obtención de una respuesta/solución al problema coherente en función del marco teórico de referencia y contexto del problema. El Modelo 2 se caracteriza por incluir: a) identificación y delimitación adecuada del problema pero con escasa vinculación al contexto; b) inclusión del problema en una categoría teórica pertinente; c) reconocimiento parcial de las variables relacionadas con la situación o las relaciones que se establecen entre ellas; d) identificación de los datos necesarios pero con falta de atención al contexto durante la selección; e) obtención de una respuesta/solución al problema coherente pero desvinculada del contexto. El modelo 3 se caracteriza por: a) identificar el objetivo del problema, pero no se lo vincula con el contexto donde se desarrolla; b) uso acrítico o infundado de datos; c) las respuestas arribadas no se relacionan con el contexto del problema; d) ausencia de evaluación de los resultados.

Los modelos de resolución hallados dan cuenta de la existencia de tres niveles de desarrollo de la competencia de resolución de problemas ingenieriles que se describen en la tabla IV.

TABLA IV. Descripción y representatividad de los niveles de desarrollo de competencia de resolución de problema hallados

Alto	Se utilizan las estrategias esperadas relacionadas a las capacidades vinculadas a la competencia resolución de problemas ingenieriles.	2/15 comisiones
Medio	Se elabora una respuesta coherente pero parcialmente vinculada con el contexto utilizándose parcialmente las estrategias esperadas.	11/15 comisiones
Bajo	Se resuelve el problema como uno definido, sin utilizarse las estrategias esperadas.	2/15 comisiones

El nivel alto se corresponde con el modelo de resolución asociado al referencial, en tanto representa un posible accionar profesional que podría implementar un ingeniero al resolver el problema planteado y cuya implementación subyace el máximo nivel de desarrollo de las capacidades esperado en función del nivel académico de los estudiantes. En el otro extremo, el nivel bajo denota la ausencia de la mayoría de las estrategias esperadas. Como se evidencia en la tabla IV, la mayoría de los estudiantes se encontrarían en un nivel intermedio del desarrollo de las competencias de resolución de problemas deseables para la formación básica de la carrera.

VI. CONCLUSIONES

El trabajo realizado deja en evidencia que la mayoría de los estudiantes de Física I, asignatura del ciclo básico de las carreras de ingeniería, logran identificar, a partir de un enunciado indefinido, el problema *ingenieril* a resolver y relacionarlo con un marco teórico adecuado. Pero al planificar la acción a seguir, la mayoría realiza un análisis reduccionista de la situación, atendiendo escasamente al contexto en el que la situación problema se plantea. Esto se traduce en un reconocimiento parcial de las variables involucradas o desconocimiento de las relaciones que se establecen entre ellas. Sumado a ello se observa la ausencia de mecanismos que permitan evaluar las decisiones tomadas, las estrategias implementadas y los resultados hallados.

La situación descrita, se condice con los resultados hallados en trabajos previos (ver por ejemplo Montero, Braunmüller y Bravo, 2020) y reafirma la necesidad de implementar instancias de enseñanza especialmente diseñadas para favorecer el desarrollo de la competencia de resolución de problemas y con ello de las estrategias involucradas (y descritas en la tabla I). Actualmente, y de manera sostenida, las autoras se abocan al diseño, implementación y evaluación de propuestas de enseñanza que incluyan la resolución de problemas ingenieriles, que permitan superar los obstáculos detectados en la resolución realizada por los estudiantes.

AGRADECIMIENTOS

En este contexto inédito, el mayor reconocimiento es para los estudiantes que supieron desarrollar empáticamente la paciencia necesaria para permanecer en la cursada de la asignatura y sortear exitosamente lo que la cátedra propuso. Agradecer a los docentes del área de Física y del área de Comunicación Institucional que acompañaron el diseño e implementación de la propuesta adaptándola al contexto de aislamiento social y que tuvieron siempre una palabra de aliento y contención para los estudiantes. Por último, agradecer a las compañeras y amigas del grupo IpACT "Innovación para la Alfabetización Científico - Tecnológica" (proyecto de Extensión Universitaria de la FIO).

REFERENCIAS

CONFEDI. (2014) "Documentos de CONFEDI competencias en ingeniería. "Declaración de Valparaíso" sobre Competencias Genéricas de Egreso del Ingeniero Iberoamericano. Competencias Genéricas de Egreso del Ingeniero Argentino. Competencias Requeridas para el Ingreso a los Estudios Universitarios en Argentina". Mar del Plata: Universidad FASTA.

CONFEDI. (2018) Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería en la República Argentina. "El libro rojo de CONFEDI". Universidad FASTA Ediciones.

García García, J. y Rentería Rodríguez, E. (2012). La medición de la capacidad de resolución de problemas en las ciencias experimentales, *Ciência & Educação*, 18, 4, 755-767.

Montero, M.; Braunmüller, M.; Bravo, B. (2020). La resolución de problemas en carreras de ingeniería: capacidades y obstáculos de los estudiantes. Aceptado para su publicación en las VII jornada nacional y III latinoamericana de ingreso y permanencia en carreras científico - tecnológica (IPECyT 2020) a llevarse a cabo en la ciudad de Tucumán en el mes de noviembre.

Peralta, MH, Ercoli, NL, Godoy, ML, Rivas, I., Montanaro, MI y Bacchiarello, R. (2008). Proyecto estructural de la réplica de la piedra movediza: comportamiento estático y dinámico. *XX Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural*. Buenos Aires, Argentina.

Polya, G. (Ed.). (1987). *Cómo plantear y resolver problemas*. México: Trillas.

Pozo, J. y Monereo, C. (2009). Introducción: La nueva cultura del aprendizaje universitario o por que cambian nuestras formas de enseñar y aprender. En J. Pozo y M. Pérez Echeverría (Coords.) *Psicología del aprendizaje universitario: la formación de competencias*. Madrid: Morata.

Pozo, J. y Pérez Echeverría, M. (2009). Aprender a comprender y resolver problemas. En J. Pozo y M. Pérez Echeverría (Coords.) *Psicología del aprendizaje universitario: la formación de competencias*. Madrid: Morata.

Truyol, M., Gangoso, Z. (2010). La selección de diferentes tipos de problemas de física como herramienta para orientar procesos cognitivos. *Investigações em Ensino de Ciências*.V15(3), pp. 463-484.