



Uso de inteligencia artificial generativa para resolver problemas de física en ingeniería

Use of Generative Artificial Intelligence to Solve Physics Problems in Engineering

Bettina Bravo

CONICET, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

bbravo@fio.unicen.edu.ar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3941-0547>

Gastón Pérez

CONICET, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

gastonperezbio@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9751-2042>

Yesica Inorreta, Yanina Jara

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

yesicainorreta@gmail.com, jaracyanina@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3609-0899>, <https://orcid.org/0009-0002-3647-6900>

RESUMEN • Este trabajo analiza la integración de la inteligencia artificial generativa en la educación con ChatGPT y los desafíos que plantea para docentes. Se centra en problemas de inducción electromagnética, un concepto clave en física e ingeniería, que exige conocimientos teóricos y habilidades metacognitivas. ChatGPT actúa como «prótesis cognitiva», ampliando capacidades y favoreciendo la autorregulación. En un curso de física, se evaluaron potencialidades y limitaciones con actividades prácticas y análisis cualitativo. Los resultados muestran que ChatGPT mejora la comprensión de la inducción electromagnética, fortalece estrategias de aprendizaje autorregulado y promueve reflexión metacognitiva, aunque persisten retos pedagógicos y la necesidad de formación docente. Se proponen pautas de integración y futuras investigaciones en entornos adaptativos y evaluación de aprendizajes.

PALABRAS CLAVE: Inteligencia artificial generativa; Problemas ingenieriles; Inducción electromagnética, Prótesis cognitiva, Metacognición.

ABSTRACT • This paper analyzes the integration of generative artificial intelligence in education using ChatGPT and the challenges it poses for instructors. It focuses on problems of electromagnetic induction—a key concept in physics and engineering—that demand both theoretical knowledge and metacognitive skills. ChatGPT functions as a «cognitive prosthesis», expanding learners' capabilities and supporting self-regulation. In a university physics course, its potential and limitations were evaluated through practical activities and qualitative interaction analysis. The results show that ChatGPT enhances understanding of electromagnetic induction, strengthens self-regulated learning strategies, and promotes metacognitive reflection, although pedagogical challenges and the need for instructor training remain. Integration guidelines and avenues for future research in adaptive learning environments and outcome evaluation are proposed.

KEYWORDS: Generative artificial intelligence; Engineering problems; Electromagnetic induction; Cognitive prosthesis; Metacognition.

Recepción: octubre 2024 • Aceptación: abril 2025 • Publicación: noviembre 2025

Bravo, B., Pérez, G., Inorreta, Y. y Jara, Y. (2025). Uso de inteligencia artificial generativa para resolver problemas de física en ingeniería. *Enseñanza de las Ciencias*, 43(3), 73-91.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6332>

INTRODUCCIÓN

Hacia finales de 2022, la inteligencia artificial generativa (IAg) comenzó a integrarse en la vida cotidiana de las personas, destacándose con la llegada de Chat GPT. Este chatbot permite a los usuarios hacer preguntas o dar indicaciones, y responde con conversaciones en lenguaje natural. La presencia de ChatGPT en las aulas ha sido creciente, ya que muchos estudiantes recurren a él para resolver tareas, lo que ha introducido un nuevo desafío para los educadores (Cedeño Tapia, 2023; Cooper, 2023).

La Didáctica de las Ciencias Naturales ha liderado históricamente la incorporación de nuevas tecnologías en la enseñanza. La adaptación y evaluación de estas herramientas emergentes en las prácticas educativas es esencial para asegurar que su integración sea efectiva y beneficiosa para mejorar la comprensión de conceptos, teorías y modelos, así como para desarrollar habilidades experimentales, de resolución de problemas, de trabajo en equipo y de autorregulación (Conejo-Villalobos et al., 2019; Gómez-Carmona et al., 2023; López-Quintero et al., 2019).

A pesar del consenso de que estos recursos, por sí solos, no garantizan una mejora en el aprendizaje y deben ser integrados con una perspectiva didáctica, hay una carencia de estudios empíricos sobre la integración de la IAg en las clases de ciencias (Cooper, 2023; Ng et al., 2024; Ortiz et al., 2024). Esto resalta la necesidad de investigar cómo los estudiantes construyen conocimiento científico apoyados por esta tecnología, cómo puede facilitar el aprendizaje y qué nuevos conocimientos pueden surgir de su uso. En este contexto, en el presente trabajo, buscamos analizar las limitaciones y potencialidades del uso del ChatGPT en la resolución de problemas ingenieriles (PI) relacionados con el fenómeno de la inducción electromagnética.

Nos enfocamos en la resolución de problemas porque un objetivo central de la enseñanza universitaria es formar profesionales que no solo conozcan teorías, leyes o modelos, sino que sean capaces de usarlos de manera estratégica para analizar los contextos complejos, inciertos y cambiantes en los que viven y trabajan (Pozo y Pérez Echeverría, 2009). En el contexto de la formación de ingenieros¹, se trabaja con los llamados «problemas ingenieriles» (Bravo et al., 2021), que corresponden a situaciones problemáticas relacionadas con el futuro perfil profesional, que requieren la formulación de objetivos, búsqueda y análisis de información, planificación de acciones que seguir, la aplicación de principios científicos y matemáticos para desarrollar soluciones ingenieriles efectivas y eficientes, no necesariamente únicas. Una temática de gran relevancia en esta formación científico-tecnológica corresponde al fenómeno de inducción electromagnética (IE), que requiere la integración de diversas leyes de la electricidad y el magnetismo, y su aplicación subyace tras el funcionamiento de múltiples dispositivos, desde las guitarras eléctricas o los cargadores de celulares hasta las centrales eléctricas.

A continuación, describimos el marco teórico y metodológico que guía la investigación, y la propuesta de enseñanza pensada para futuros ingenieros, para, finalmente, esbozar algunas primeras conclusiones de índole general, basadas en los resultados hallados al implementarla, para ayudar a pensar la inclusión del Chat GPT en las clases de Física.

MARCO TEÓRICO

El aprendizaje de la inducción electromagnética

La concepción de aprendizaje adoptada en este proyecto se construye a partir de aportes realizados, principalmente, por la psicología cognitiva y educativa (Chi et al., 2012; Pozo, 2016; Viennot, 2011; Vosniadou et al, 2012). Desde estos aportes, aprender implica reconocer los modos intuitivos de

1. Se utilizará el género masculino para hacer referencia a ambos sexos como grupo de población, con la finalidad de facilitar la lectura y la redacción, sin intención de discriminación ni de uso sexista del lenguaje.

razonar, de modo que la interpretación de conceptos, leyes, teorías y modelos científicos se reconozcan como alternativos, pero potencialmente útiles para interpretar y actuar en el mundo real. Kahneman (2011) propone un modelo mental con dos sistemas: uno intuitivo, rápido y automático, y otro reflexivo, consciente y lento. El desafío educativo radica en cultivar habilidades de autorregulación que favorezcan el juicio reflexivo.

En relación con la inducción electromagnética (IE), y con base en resultados de investigaciones previas (véase por ejemplo Braunmüller et al., 2019; Inorreta et al., 2023, Inorreta, 2024), el aprendizaje implicaría tres estadios hasta alcanzar una comprensión compleja de este.

1. Reconocimiento del fenómeno: Identificar elementos como el campo magnético y el conductor, y procesos como el movimiento relativo. Los estudiantes suelen usar explicaciones incorrectas, como considerar el imán una fuente de energía, reflejando razonamientos monovariados.
2. Comprensión causal: Incorporar conceptos como el flujo magnético y superar la observación directa. Frecuentemente, surgen modelos híbridos que desconocen la necesidad de variaciones temporales del flujo magnético para generar IE, lo que conduce a explicaciones reduccionistas.
3. Cuantificación: Aplicar modelos matemáticos para relacionar variables, como en la ley de Faraday. Este razonamiento es sistémico y multivariado, y permite una comprensión más compleja del fenómeno.

El proceso de aprendizaje de la IE suele estar atravesado por diversas dificultades que se han resaltado en la investigación educativa (Almudí et al., 2016; Braunmüller et al., 2019; Catalán et al., 2010; Naizaque Aponte, 2013; Zuza et al., 2012). Las dificultades más comunes incluyen confusiones sobre el flujo magnético y la falta de distinción entre niveles empíricos e interpretativos, donde los estudiantes tienden a atribuir la IE exclusivamente a la presencia de un campo magnético, ignorando la necesidad de cambios en el flujo magnético.

La resolución de problemas ingenieriles como medio para aprender

La resolución de problemas puede ser entendida como aquellas tareas que una persona o un grupo debe o desea resolver y para lo cual la estrategia de solución no resulte evidente (Couso et al., 2008; Pozo y Pérez Echeverría, 2009; Tan, 2004). En general, dicha solución coincide con el conocimiento que el docente se propone enseñar (Fabre y Orange, 2001).

Según García y Rentería (2012), resolver un problema implica usar conocimientos conceptuales y procedimentales (como delimitar el problema, formular hipótesis, diseñar y probar hipótesis mediante experimentos); además de aplicar una diversidad de procesos cognitivos, como analizar, identificar, comparar, clasificar, resumir, representar, relacionar variables, establecer analogías, sacar conclusiones y evaluar.

Como se adelantó, en este trabajo se pone el foco en un tipo particular de problemas, los problemas ingenieriles (Bravo et al., 2021). Estos problemas presentan situaciones reales y abiertas, lo que requiere identificar información implícita, formular hipótesis, evaluar alternativas y considerar impactos sociales y ambientales (Truyol y Gangoso, 2010; Truyol et al., 2012). La resolución de PI involucra, en principio, tres etapas:

1. Interpretación: Identificar y clasificar el problema, extraer información relevante y establecer relaciones entre variables.
2. Planificación y ejecución: Generar y evaluar soluciones, diseñar estrategias tecnológicas y optimizar recursos.
3. Evaluación: Revisar resultados, compararlos con predicciones y ajustar estrategias cuando sea necesario.

En el contexto de la resolución de estos PI, la metacognición (MC) se vuelve esencial (Lawanto, 2010; Perry et al., 2018). Esto es, la capacidad de reflexionar explícita y conscientemente sobre los recursos cognitivos y los modos en los que se resuelven las tareas, para poder ajustarlos a diferentes contextos y mejorar los caminos de resolución (Azevedo, 2020; Perry et al., 2018; Zohar y Barzilai, 2013). La MC es un término polisémico, pero en general tiende a estar definido a partir de dos dimensiones: el conocimiento metacognitivo y la regulación metacognitiva (Avargil et al., 2018; Monereo et al., 2012; Pozo, 2016). El primero corresponde al conocimiento que tienen las personas sobre la propia cognición, la de otros o en general. Involucra conocer qué se sabe y qué no, qué factores influyen en el aprendizaje, qué estrategias se poseen y cómo, cuándo y por qué se pueden utilizar. El segundo corresponde a los procesos de control ejecutivo de la propia cognición, como la planificación de la tarea, el monitoreo de esta y la evaluación de los productos y procesos regulatorios del aprendizaje.

La MC es esencial en la resolución de problemas ingenieriles, ya que implica reflexionar consciente y explícitamente sobre los recursos cognitivos y los modos de resolver tareas, permitiendo ajustarlos a diferentes contextos y mejorar los procesos de resolución (Azevedo, 2020; Perry et al., 2018; Zohar y Barzilai, 2013). Este concepto abarca dos dimensiones principales: el conocimiento metacognitivo, relacionado con la comprensión de la propia cognición y estrategias, y la regulación metacognitiva, que incluye planificación, monitoreo y evaluación del aprendizaje (Avargil et al., 2018; Pozo, 2016).

En problemas ingenieriles, la naturaleza compleja e indefinida exige un alto grado de compromiso y autorregulación. Los estudiantes deben identificar información relevante, definir elementos clave, representar mentalmente el problema y evaluar sus conocimientos previos (Davidson et al., 1994; Lawanto, 2010). Este proceso involucra elaborar representaciones mentales, formular planes de acción divididos en subproblemas y ajustar dichos planes según los avances, inconsistencias y resultados obtenidos (Fabre y Orange, 2001).

Fomentar la MC puede mejorar significativamente el aprendizaje de modelos científicos y preparar a los futuros ingenieros para un aprendizaje continuo y autónomo, crucial en un campo en constante cambio (Perry et al., 2018; Werner da Rosa y Ghiggi, 2018; Marra et al., 2022). Sin embargo, el conocimiento empírico sobre su rol en la resolución de problemas sigue siendo limitado, destacando la necesidad de planificar su enseñanza y evaluar su impacto en el aprendizaje (Azevedo, 2020; Krieger et al., 2022; Lawanto, 2010).

Las tecnologías como prótesis cognitiva en los procesos de aprendizaje de las ciencias

El aprendizaje, según Pozo (2016), siempre está mediado por dispositivos o sistemas culturales de representación y conocimiento, como la escritura, la notación matemática y las tecnologías digitales. Estas herramientas actúan como prótesis mentales que amplían, modifican o reconstruyen las capacidades de aprendizaje, lo que permite el desarrollo de nuevas habilidades cognitivas y la transformación de funciones primitivas como la memoria, la imaginación, la percepción y el razonamiento.

En este sentido, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) se convierten en aliadas del aprendizaje, al integrarse como parte de un sistema de cognición distribuida en el aula. Su análisis debe enfocarse en las tareas cognitivas realizadas conjuntamente con ellas (Giere y Moffatt, 2003). Así, la construcción de conceptos, modelos y leyes científicas no ocurre exclusivamente en la mente de los individuos, sino que también involucra recursos tecnológicos y culturales. Como señala Pozo (2016), el aprendizaje es una tarea socialmente distribuida, que implica no solo la colaboración entre mentes, sino también su apoyo en dispositivos culturales que amplían las posibilidades de cada una.

Esta integración simbiótica entre las redes neuronales del cerebro y las tecnologías culturales genera nuevas funciones mentales que no podrían desarrollarse de forma aislada. Estas prótesis cognitivas liberan espacio en la memoria de trabajo, permitiendo concentrarse en procesos cognitivos más com-

plejos, como los metacognitivos, que no son susceptibles de externalización. Además, facilitan formas innovadoras de procesar información, promoviendo experiencias cognitivas avanzadas y el desarrollo de habilidades de alta complejidad, ampliando así las competencias cognitivas de los aprendices (Monereo y Pozo, 2007).

Respecto al ChatGPT, este podría funcionar como soporte para los estudiantes, proporcionando información, orientación, retroalimentación y motivación, además de generar preguntas, ideas, soluciones y evaluaciones, actuando, así, como un agente mediador para resolver problemas (Cain, 2023; Mercado del Collado y Llaca Reyes, 2024).

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Objetivo

Con este trabajo, se pretende analizar las potencialidades y limitaciones del uso del ChatGPT como prótesis cognitiva en la resolución de problemas ingenieriles relacionados con el fenómeno de inducción electromagnética.

El estudio

El trabajo se llevó a cabo con un grupo de estudiantes de la asignatura Física II, perteneciente al ciclo básico de todas las carreras de Ingeniería que se dictan en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, en Argentina. Participaron en el estudio 70 estudiantes, de clase socioeconómica-cultural media, con edades comprendidas entre los 20 y 22 años, en una proporción de 60 % de varones y de 40 % de mujeres (ninguno se autoidentificó como no binario). El estudio adoptó un diseño cualitativo-interpretativo de alcance exploratorio (Hernández Sampieri et al., 2014), lo que permitió comprender las perspectivas de los participantes en su entorno natural.

Los participantes

La actividad fue propuesta a los 70 estudiantes inscritos en la asignatura Física II, pero al ser una tarea no obligatoria solo participaron aquellos que conformaron los 8 grupos analizados. En estudios cualitativos, la representatividad no se basa en la cantidad de casos, sino en la profundidad del análisis (Flick, 2007; Hernández Sampieri et al., 2014), lo que permite identificar patrones en la interacción con ChatGPT en la resolución de problemas ingenieriles, por lo que la metodología empleada aseguraría la validez de los datos y su coherencia con los objetivos del estudio, sin pretender una extrapolación generalizada, pero sí proporcionando un marco para investigaciones futuras en contextos educativos similares.

El PI diseñado y contexto de aplicación

El PI que los estudiantes debían resolver correspondía al diseño de un prototipo de cargador sencillo por inducción electromagnética que fuese capaz de cargar la batería del teléfono. Para resolver esta problemática se les propuso interactuar con ChatGPT y un laboratorio virtual denominado «El laboratorio de Faraday». Se utilizó ChatGPT (versión de marzo 2024) disponible en <https://openai.com>, elegido por ser de acceso libre y gratuito, además de la evidencia de su uso masivo. Estas características, junto con su potencial como recurso educativo, lo convierten en una herramienta valiosa y versátil para

la enseñanza. ChatGPT puede proporcionar explicaciones, ejemplos, ejercicios y retroalimentación de manera interactiva y adaptativa, ajustándose al nivel, ritmo y estilo de aprendizaje de cada estudiante (Mercado del Collado y Llaca Reyes, 2024; Wan y Chen, 2024).

El PI se integró en la asignatura Física II, que se organiza según un tipo de secuencia didáctica IDAS (iniciación, desarrollo, aplicación y síntesis) (Bravo et al., 2021). El PI diseñado se integró en la instancia de aplicación, destinada a fomentar habilidades de resolución de problemas mediante la transferencia de conceptos a distintos contextos. Esta etapa implica abordar problemas complejos, que requieran la integración de diversos contenidos, la búsqueda de información relevante y la aplicación de conceptos físicos, junto al desarrollo de habilidades prácticas y tecnológicas.

El enunciado del problema (tabla 1) exige que los estudiantes, en grupos, utilicen de manera consciente y coherente sus conocimientos sobre el fenómeno de inducción electromagnética. Además, está planteado en términos indefinidos, por lo que requiere que pongan en juego las habilidades mencionadas en el marco teórico.

Tabla 1.
Enunciado del PI

RECARGA DE TELÉFONOS MÓVILES POR INDUCCIÓN

Imagina que vos y tu grupo deciden participar del concurso InnovaFIO *diseñando* un prototipo de cargador sencillo por inducción electromagnética que sea capaz de cargar la batería del teléfono, sabiendo que el voltaje estándar necesario para ello, es de 6 V. Para resolver esta problemática te proponemos interactuar con las nuevas tecnologías como la inteligencia artificial generativa (en este caso el ChatGPT) y los laboratorios virtuales (en este caso «El laboratorio de Faraday»)

Tarea 1. Elaborar una explicación detallada sobre el principio de funcionamiento del dispositivo que diseñar. Para ello:

- a) Preséntale la problemática al chat y según sus respuestas plantéenle al menos tres preguntas (o las que consideres pertinentes) que te permitan llegar a una respuesta satisfactoria.
- b) Si consideras que las respuestas no aportan a la tarea requerida, elabora tu explicación según los conceptos y leyes que han sido estudiados a lo largo del desarrollo de la asignatura.

Tarea 2. Selecciona los materiales adecuados para diseñar el cargador por inducción e indica su función y cómo deberías interconectarlos. De ser necesario, interacciona con el Chat en búsqueda de información.

Tarea 3. Determina el valor de las variables y parámetros involucrados en el diseño del cargador por inducción de 6 V de salida. Para ello te recomendamos:

- a) usar la aplicación «Inducción Electromagnética» manipulando las variables del circuito primario con el fin de generar 6 V en el circuito secundario
- b) Plantear luego esta tarea al Chat y, según sus respuestas, modificar o ampliar las tuyas. De hacerlo, escribe a continuación las nuevas.

Fuente: elaboración propia.

La resolución del PI estuvo guiada por los docentes que conforman la cátedra (1 profesor asociado, 1 profesor adjunto y 3 auxiliares docentes) con importante experiencia en la enseñanza del electromagnetismo en este nivel educativo. Al finalizar el diseño, y con el fin de conocer qué piensan los estudiantes sobre el uso y potencialidad de ChatGPT como «ayuda» para resolver problemas, se les propuso realizar una actividad metacognitiva (tabla 2).

Tabla 2.
Consigna final

CONSIGNA FINAL

En esta tarea vas a analizar la interacción que tuviste con ChatGPT. Esto te permitirá «mirar desde afuera» el proceso de diseño del dispositivo, lo cual es útil para seguir reflexionando sobre cómo aprendemos y mejorar nuestros aprendizajes en un futuro. Para ello, vas a descargar la interacción que tuviste con ChatGPT y sobre este documento vas a analizar lo siguiente:

- a) ¿Qué partes de la discusión te ayudaron a mejorar el diseño del prototipo? ¿Por qué consideras que fueron de ayuda? Remarca la parte de la interacción que te hizo darte cuenta de esto.
- b) ¿Qué cosas nuevas aprendiste o afianzaste al interactuar con el Chat? Marcá las partes de la interacción donde ocurrió esto.
- c) ¿En qué momentos dudaste de lo que decía ChatGPT? ¿Cómo resolviste esas dudas? Márcalo en el documento.
- d) ¿Consideras que el uso de ChatGPT te sirvió para aprender? ¿Y te servirá en un futuro para algo?

Fuente: elaboración propia.

En el anexo se presentan dos «referenciales» que proporcionan suposiciones sobre las acciones, conocimientos, habilidades, conceptos/leyes/modelos que los estudiantes deberían poner en juego en la resolución del PI y la consigna final.

Recolección de datos y métodos de análisis

La recolección de datos se llevó adelante recuperando las producciones escritas de los estudiantes a las consignas planteadas (figura 2 y 3). Además, se recuperaron las conversaciones que los grupos de estudiantes establecieron con ChatGPT. Se obtuvieron en total 8 resoluciones grupales completas, referidas en los resultados como G1 a G8. Estas fueron analizadas a partir de un análisis temático (Braun y Clarke, 2013; Neuendorf, 2019). Este tipo de análisis permite sistematizar el conjunto de datos e identificar patrones en estos, que se agrupan en temas. Se espera que estos temas puedan ser útiles para comparar con otros contextos, sirviendo como guía sin una extrapolación directa.

Para realizar este tipo de análisis, en primer lugar, se generaron códigos que se asignaron a fragmentos de cada resolución. En segundo lugar, se identificaron similitudes entre los códigos, se descartaron otros, y se elaboró un patrón en el conjunto de códigos. Este patrón o tema se encuentra relacionado con los objetivos de investigación, y su elaboración estuvo guiada por el marco teórico en cuestión y los referenciales presentados en el anexo. Las producciones elaboradas por los estudiantes se compararon con estos referenciales, lo que permitió caracterizar los conocimientos que pusieron en juego al resolver el problema, así como tipificar y caracterizar la interacción que implementaron con el ChatGPT.

Para garantizar la validez y fiabilidad del análisis, se implementó la triangulación de investigadores como estrategia central (Flick, 2007). En este proceso cada investigador analizó las producciones de los estudiantes de manera independiente, asignando códigos y categorizando los datos conforme a los criterios establecidos en el marco teórico. Posteriormente, se llevó a cabo una fase de comparación y consolidación de los hallazgos, donde las discrepancias fueron discutidas y resueltas en consenso para fortalecer la coherencia interpretativa y reducir sesgos individuales. Se dio prioridad a los temas que surgieron consistentemente en los análisis independientes. Además de la triangulación de investigadores, se procuró una validación teórica (Flick, 2007) de los hallazgos mediante la comparación de los resultados con estudios previos sobre la enseñanza de la inducción electromagnética y el uso de inteligencia artificial generativa en el aprendizaje de ciencias.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, presentaremos los temas elaborados que permiten analizar las potencialidades y limitaciones del uso de ChatGPT como prótesis cognitiva en la resolución de PI.

Tema 1. ChatGPT y su relación con explicaciones monovariadas y reduccionistas

Una de las tareas que se debían realizar para resolver el PI es la explicación del fenómeno de IE que subyace tras el funcionamiento del cargador por inducción. Al respecto, una de las temáticas con mayor presencia tuvo que ver con las explicaciones reduccionistas o monovariadas que los estudiantes propusieron. Estas explicaciones corresponderían al estadio 2 de aprendizaje de la IE (Inorreta, 2024), en las que los estudiantes solo tienen en cuenta una única variable, una única causa, en la generación de la fuerza electromotriz por IE, y, por lo tanto, en la explicación del funcionamiento del cargador.

Si bien encontramos que los diferentes grupos varían en sus explicaciones, en general emerge un enfoque reduccionista. Por ejemplo, en la tarea 1, al pedirles que elaboren una explicación detallada sobre el principio de funcionamiento del dispositivo que se debía diseñar, grupos como G3 y G8, ante la necesidad de lidiar con la complejidad de conceptos o leyes asociados al problema, que demandan de un razonamiento plurivariado, utilizaron razonamientos monovariados y reduccionistas. Así, al analizar la interacción que G3 mantiene con ChatGPT, se observa que copia textual y acríticamente lo propuesto por el chatbot. En negrita resaltamos el uso de razonamientos lineales (el campo magnético genera un corriente), que son los que prevalecen en la respuesta. Aunque el propio chatbot en algún momento hace alusión a un razonamiento más sistémico («convertir flujo magnético cambiante en una corriente»), la explicación no pone el foco allí.

«[...] Cuando se coloca el teléfono sobre el cargador, *se establece un campo magnético entre las bobinas, lo que induce corriente en la bobina receptora* del teléfono. [...] Al acercar una bobina transmisora conectada a una fuente de energía a una bobina receptora, configurada para convertir el flujo magnético cambiante en una corriente eléctrica en un dispositivo, se establece un campo magnético entre las dos bobinas. *Este campo magnético induce una corriente eléctrica en la bobina receptora*, que puede ser utilizada para cargar la batería del dispositivo» (Resolución tarea 1 - Grupo 3).

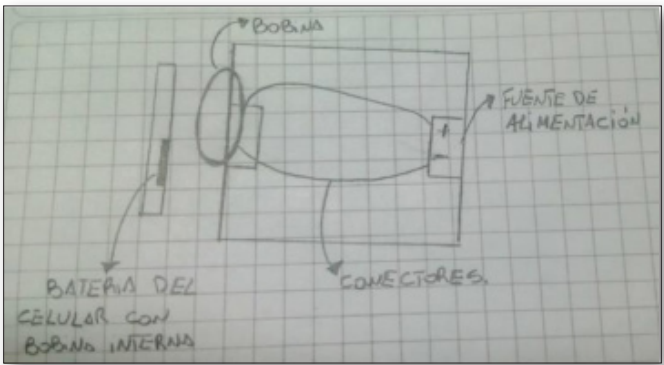
De esta manera, estos grupos tienden a identificar al campo magnético (o en el «mejor» de los casos su variación) como la causa de que se genere una fuerza electromotriz por IE. Este suele ser un modelo «híbrido» que, según investigaciones previas (Inorreta, 2024), los estudiantes suelen construir conforme avanza el proceso de aprendizaje y, frecuentemente, logran usar como «escalón» para elaborar modelos más complejos que reconocen la variación de flujo magnético como la única causa del fenómeno de IE.

Otro ejemplo de este tipo de razonamiento lo encontramos en la resolución de la tarea 2 del G1 (tabla 3). Si bien los estudiantes eligen adecuadamente los elementos necesarios para diseñar el dispo-

sitivo y proponen correctamente las conexiones que deben establecerse entre ellos (como veremos más adelante, apoyados por el chatbot), la explicación del fenómeno de IE se reduce a la mera existencia de un campo magnético (razonamiento monovariado, reduccionista).

Tabla 3.
Resolución de la tarea 2 del G1

<i>Elemento que usar</i>	<i>Función</i>
Bobina	Generador del campo magnético para inducir una corriente
Celular con bobina interna	Receptor del campo magnético generado por la otra bobina
Fuente de alimentación	Generar una diferencia de potencial en la bobina del cargador para generar corriente en dicha bobina
Conectores	Conectar la fuente de alimentación a la bobina



El diagrama ilustra un experimento de inducción magnética. A la izquierda, se muestra un componente etiquetado como 'BATERIA DEL CELULAR CON BOBINA INTERNA'. A la derecha, hay una 'FUENTE DE ALIMENTACIÓN' conectada a una 'BOBINA' a través de 'CONECTORES'. Las líneas representan los cables de conexión entre estos componentes.

Para el caso de la tarea 3, en la que se propone a los estudiantes determinar variables y parámetros, encontramos que es particularmente desafiante, dado que implica utilizar modelos matemáticos (en este caso representando la Ley de Faraday) para realizar cálculos. Al analizar las producciones de los grupos, se observa una tendencia a utilizar enfoques reduccionistas al realizar esta tarea, lo que deja en evidencia la dificultad que resultó para ellos aplicar los modelos matemáticos asociados a la IE, lo que se esperaría en un estadio 3 del aprendizaje de la IE (Inorreta, 2024). En este caso, se observan serias dificultades para interaccionar con el chatbot y «solicitar» el valor de algunos parámetros o los modelos matemáticos que permitirían calcular alguna variable. Los *prompts* resultaron cerrados y descontextualizados (ahondaremos en esto en el tema 3). Así puede observar en el ejemplo de la tabla 4 que muestra parte de la interacción de G2 con el chat.

Tabla 4.
Interacción entre el G2 y el Chat GPT

Pregunta 6: ¿Cuánto mide el radio de una espira circular de un celular?

El tamaño del radio de la espira circular de un celular puede variar dependiendo del modelo y del diseño específico del dispositivo. En general, la mayoría de los teléfonos celulares modernos tienen una espira circular de radio muy pequeña, ya que se utiliza para funciones como la carga inalámbrica o la comunicación con accesorios compatibles, como los dispositivos de realidad aumentada.

La falta de asistencia de la aplicación y la complejidad intrínseca a la tarea quedan en evidencia con la cantidad de grupos que no lograron dimensionar el diseño propuesto (ver figura 1).

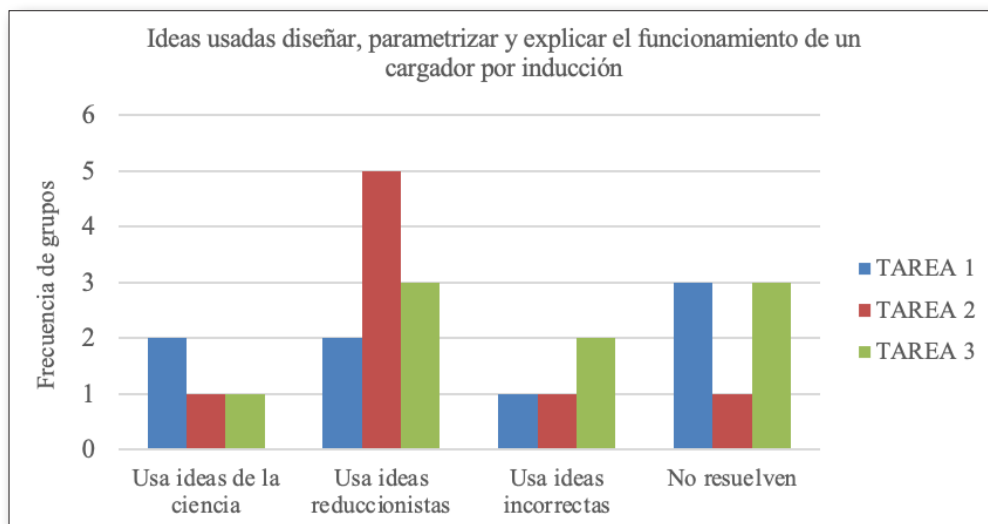


Fig. 1. Frecuencia de ideas utilizadas por grupo de estudiantes para diseñar, parametrizar y explicar el funcionamiento de un cargador por inducción para cada una de las tareas propuestas en el PI.

Cabe resaltar que, en la mayoría de las tareas, es el propio ChatGPT quien elabora explicaciones reduccionistas. Estas no necesariamente resultan incorrectas desde el punto de vista de la ciencia, sino que se construyen de esta manera porque no explicita las consideraciones adoptadas al manipular los modelos. Esto, junto con la tendencia ya detectada de los estudiantes a activar modos de razonar reduccionistas, puede resultar perjudicial para el proceso de aprendizaje que están experimentando, y consolidarse esas ideas como válidas, conforme aprenden sobre la IE y que frecuentemente suelen ser difíciles de «superar» (Almudí et al., 2016; Braunmüller et al., 2019; Catalán et al., 2010; Naizaque Aponte, 2013; Zuza et al., 2012).

El análisis realizado muestra que las respuestas de ChatGPT sobre inducción electromagnética tienden a ser reduccionistas, centrándose en un solo aspecto del fenómeno y omitiendo elementos clave, como la variación del flujo magnético para la generación de corriente inducida. Esta simplificación puede deberse a sesgos en el modelo de IA (Cooper, 2023), pero también a la falta de conciencia de los estudiantes sobre la necesidad de seleccionar críticamente la información relevante y construir respuestas coherentes con los contenidos abordados en la asignatura. La falta de un conocimiento sólido sobre el tema habría llevado a una aceptación acrítica de explicaciones incompletas, sin un proceso de refinamiento a través de preguntas adicionales que permitiera profundizar en la conceptualización del fenómeno. Aunque es posible mejorar la calidad de las respuestas de ChatGPT mediante ajustes en los *prompts*, esto requiere que los usuarios tengan un dominio suficiente del contenido para formular preguntas precisas y evaluar críticamente las respuestas obtenidas. La tendencia a aceptar de manera pasiva las respuestas del chatbot sugiere, además, una cesión de responsabilidad en la regulación de estos sesgos (Pérez, 2023), lo que refuerza la necesidad de un acompañamiento docente que fomente el pensamiento crítico. Identificar sesgos, tanto en las respuestas de la IA como en el propio razonamiento, es un proceso complejo que exige activar la ruta razonada (Kahneman, 2011) para contrarrestar respuestas intuitivas. En este sentido, sin una preparación teórica adecuada y un enfoque crítico en el uso de la herramienta, los estudiantes pueden tener dificultades para evaluar la información proporcionada por ChatGPT y aprovecharla de manera efectiva en su proceso de aprendizaje.

Tema 2. El ChatGPT como prótesis para la obtención de información y la selección de materiales para resolver el problema

Una de las tareas que se deben realizar para la resolución del PI es la de seleccionar los elementos o componentes adecuados para construir el cargador, indicar la función que cumple cada uno y cómo se deberían interconectarlos. Esta tarea requiere la aplicación práctica de conocimientos teóricos, lo cual resulta un desafío «extra» para los estudiantes, ya que presenta la dificultad de conectar teoría y práctica, especialmente en términos de uso de materiales.

En relación con la selección de elementos se halla que la mayoría de los grupos logran realizar esta tarea, pero al analizar la interacción que mantienen con el ChatGPT se observa que en varias ocasiones optan por propuestas dadas por el chatbot, cuya constitución y funcionamiento excede los saberes abordados en la asignatura. Queda en evidencia la dificultad que mantienen los estudiantes para seleccionar criteriosamente la información atendiendo a los contenidos analizados en la asignatura y el grado de profundización con el que se abordaron estos.

Cuando se les solicita reflexionar sobre los procesos de resolución en la consigna final, los estudiantes esbozan reflexiones metacognitivas en las que sugieren que ChatGPT es útil para conocer ciertos datos o materiales concretos y sus funciones, los cuales servirían para resolver el problema en cuestión. Ejemplos de estas reflexiones son las que se presentan a continuación:

«La discusión con el chat nos sirvió como «punta» del tema para saber por dónde empezar y el listado de materiales también fue muy útil para entender mejor el circuito que teníamos que resolver» (Consigna final - Grupo 2)

«Sí nos sirvió, creemos que el ChatGPT lo podremos utilizar como herramienta para introducirse en la actividad a desarrollar, y darte un indicio por el cual podés apuntar» (Consigna final - Grupo 6).

En los ejemplos presentados, los estudiantes mencionan que la utilidad de ChatGPT radica en que les propuso los materiales para encarar el problema. Estas reflexiones corresponden al denominado conocimiento metacognitivo (Avargil et al., 2018; Monereo et al., 2012), en tanto que son sobre el conocimiento que tienen los estudiantes respecto a las estrategias de resolución del problema y del lugar que ocupa ChatGPT en estas. No obstante, como hemos mencionado ya, la selección de estos materiales suele ser sin criterio, teniendo en cuenta los contenidos trabajados en la asignatura.

Cabe destacar que ninguno de los grupos menciona que el chatbot sirva para pensar la resolución en sí misma, los pasos o las conexiones. Incluso el G4 expresa que la utilidad no radica en el «diseño del mecanismo». En este sentido, ChatGPT puede entenderse como útil con relación al conocimiento metacognitivo, para conocer aquello que se desconoce, como un apoyo para encontrar datos o definiciones, pero no para establecer un diseño como requiere un PI.

Ahora bien, en algunos casos, como en el grupo G2 o G6, se reflexiona sobre que ChatGPT ayuda a saber por dónde empezar. En este sentido, parece ser útil en relación con la regulación metacognitiva, más precisamente con la planificación de la solución del problema. Dado que el PI es un problema abierto, el chatbot parece ser importante para aquellos estudiantes que desconocen cómo empezar a encarar el problema. Sin embargo, ChatGPT restringe la posible solución, en tanto que ofrece datos para encarar la solución a partir de componentes determinados, en muchos casos alejados del contexto de la asignatura.

ChatGPT, entendido como prótesis cognitiva (Pozo, 2016), extiende las capacidades de aprendizaje de los estudiantes, pero también las restringe. Los sesgos en la resolución no permiten hacer emerger la parte más creativa de la resolución de un PI, como sí ocurre en el G4, y propone aprovechar el movimiento de poleas de las máquinas de entrenamiento de los gimnasios para hacer girar un imán cerca del teléfono donde proponen colocar la bobina receptora. Los ofrecimientos de información o materiales por parte del ChatGPT podrían ser útiles para los estudiantes, siempre y cuando puedan concebirlos

criteriosamente en el marco de una asignatura determinada, con unos objetivos de enseñanza y aprendizaje particulares. Retomaremos esto en el tema siguiente.

Tema 3. Relación entre el *prompt* elaborado para el ChatGPT y las explicaciones construidas

Al reflexionar sobre la utilización de ChatGPT, los grupos expresan la importancia de saber elaborar *prompts* para interaccionar con el chatbot. A continuación, ofrecemos algunas de estas reflexiones:

«El grupo en general no era la primera vez que utilizamos esta herramienta, pero nos vimos con dificultades ya que no sabíamos la “manera correcta” de preguntarle con el fin de obtener las respuestas que buscábamos. Quizás deberíamos mejorar este aspecto para aprovecharla de la mejor manera ya que es una gran herramienta» (Consigna final - Grupo 1).

«El chat en el futuro servirá siempre pero no es útil para todo, por lo tanto, es parcialmente útil y solo si se sabe utilizar, haciendo preguntas bien formuladas y detalladas para una respuesta más precisa» (Consigna final - Grupo 3).

En estos ejemplos, los estudiantes reflexionan sobre la importancia de saber preguntar a ChatGPT para que sirva a los fines de resolver el problema. No saber preguntar se transforma en una dificultad para su uso. Estas reflexiones pueden entenderse como expresiones de un conocimiento metacognitivo procedimental, esto es, aquel conocimiento que se tiene sobre cómo utilizar una estrategia para abordar una tarea (Avergil et al., 2018; Monereo et al., 2012).

Sin embargo, si bien los estudiantes tienden a ser conscientes de la importancia de elaborar buenos *prompts*, en la mayoría de las interacciones analizadas encontramos que los *prompts* utilizados no fueron útiles para el diseño del dispositivo. Por ejemplo, en la tarea 1, aquellos grupos que no lograron elaborar la explicación solicitada (G1, G2, G4) utilizaron como *prompt* el enunciado del problema y no la consigna particular correspondiente a la tarea, por lo que tanto el chatbot como los estudiantes se «concentraron» en el diseño del dispositivo (materiales que deben usarse, funciones que cumplen, etc.), pero no en la interpretación del fenómeno.

En estos casos queda en evidencia la ausencia de la habilidad de plantear preguntas claras y concretas que vinculen el fenómeno de IE, y con ello conceptos y leyes asociadas con el funcionamiento del dispositivo que diseñar, atendiendo siempre a los contenidos analizados en la asignatura y grado de profundización con el que se abordaron estos. En términos metacognitivos, podemos decir que los estudiantes no estarían siendo conscientes de los alcances y limitaciones de sus propias ideas al resolver el problema, como tampoco de las ofrecidas por el chatbot.

Cabe hipotetizar aquí que la ausencia de esta habilidad se debe, en parte, a la falta de práctica que tienen los estudiantes a la hora de elaborar preguntas en las clases. Podemos hipotetizar que no saben preguntar a ChatGPT, dado que no distinguen qué saben de lo que no saben, qué necesitan específicamente para avanzar en el diseño, etc. En la enseñanza tradicional, basada en la transmisión-recepción de información, se asume que, por un lado, el aprendizaje de las estrategias metacognitivas no es necesario, ya que basta con acumular saberes para que estos transmuten y generen la capacidad de usarlos (Pozo, 2016). Sin embargo, el desarrollo de la MC requiere procesos de enseñanza explícitos e intencionados. No puede esperarse que los estudiantes logren emplear estrategias metacognitivas avanzadas para resolver un problema abierto, cuando no logran diferenciar qué saben o aprendieron de lo que no saben o necesitan aprender (Monereo et al., 2012; Ritchhart et al., 2014).

CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio fue analizar las potencialidades y limitaciones del uso del ChatGPT como prótesis cognitiva en la resolución de problemas ingenieriles relacionados con el fenómeno de inducción electromagnética (IE). Respecto de las potencialidades, encontramos que el chatbot puede servir como prótesis cognitiva (Pozo, 2016) en la resolución de estos PI, en tanto que representa un apoyo para que los estudiantes obtengan información y puedan seleccionar materiales para resolver el problema. Otras investigaciones sobre el uso de ChatGPT van también en esta línea (Cain, 2023; Mercado del Collado y Llaca Reyes, 2024). No obstante, esto es una potencialidad, siempre y cuando los estudiantes puedan concebirlos criteriosamente en el contexto del PI planteado. En este sentido, esta potencialidad estuvo restringida por la dificultad que tienen los estudiantes para seleccionar criteriosamente la información proporcionada por el chatbot.

La potencia de ChatGPT para ser usado como prótesis cognitiva radica también en la buena elaboración de *prompts* para interactuar con el chatbot. En este sentido, no saber preguntar puede transformarse en una dificultad para su uso. Como mencionamos en los análisis, será necesario que en las clases se propongan espacios para fomentar preguntas genuinas de los estudiantes.

Los resultados de este estudio indican que los estudiantes utilizaron ChatGPT principalmente como una fuente de información y apoyo en la selección de materiales, pero con limitaciones en su integración efectiva como prótesis cognitiva en la construcción de conocimiento. Si bien algunos grupos aprovecharon la herramienta para guiar el proceso de resolución del problema, en muchos casos las respuestas del chatbot fueron adoptadas sin una evaluación crítica, lo que limitó su impacto en la construcción de explicaciones más elaboradas. Además, la interacción con ChatGPT estuvo condicionada por la formulación de *prompts* cerrados y descontextualizados, lo que redujo la posibilidad de que el chatbot actuara como un mediador del pensamiento reflexivo. Esto sugiere que la integración efectiva de la inteligencia artificial en el aprendizaje requiere una enseñanza explícita sobre cómo interactuar estratégicamente con estas herramientas, favoreciendo la MC y el pensamiento crítico en la resolución de problemas.

Una de las limitaciones que encontramos en el uso de ChatGPT como prótesis cognitiva en la resolución de PI tiene que ver con los tipos de explicaciones reduccionistas, en las que solo se tiene en cuenta una única variable, una única causa, a la hora de generar la fuerza electromotriz por IE. Estas son explicaciones que los propios estudiantes elaboran en el transcurso del aprendizaje de la IE (Inorreta, 2024), pero que el chatbot también elabora. Se realizan hipótesis en función de los sesgos con el que se entrenó al algoritmo (Cooper, 2023). La limitación radica en que los estudiantes no son conscientes de este tipo de explicaciones y, por tanto, no pueden detectarlas en las propuestas del chatbot. En términos metacognitivos, podemos decir que los estudiantes no serían conscientes de los alcances y las limitaciones de sus propias ideas al resolver el problema, como tampoco de las ofrecidas por el chatbot. De nuevo, emerge que los estudiantes tienen dificultades para leer criteriosamente la información proporcionada por el chatbot.

Diversas investigaciones (Almudí et al., 2016; Braunmüller et al., 2019; Catalán et al., 2010; Nizaque Aponte, 2013; Zuza et al., 2012) han sugerido que estas explicaciones reduccionistas son difíciles de superar. Frente a esto, sugerimos que una manera de abordar esta dificultad podría ser fomentar en las clases el desarrollo de la vigilancia metacognitiva (Astolfi y Peterfalvi, 2001; González Galli et al., 2020). Esto consistiría en que los estudiantes desarrollaran un conocimiento metacognitivo sobre formas de pensar como las reduccionistas, que conozcan su existencia y puedan reconocer la importancia de estar atentos a este modo de pensar, reflexionando sobre cómo influye en las explicaciones. Por ejemplo, podría plantearse a los estudiantes discutir ejemplos de explicaciones reduccionistas en distintos ámbitos de la vida cotidiana, para identificar este modo de razonar transversal. Luego, una

vez explicitado, se podría identificar en sus propias producciones la manera de reconocerlo en sus propios pensamientos. Además, desarrollar la vigilancia metacognitiva implicaría una regulación metacognitiva sobre este tipo de razonamientos, en el sentido de identificarlo en diversas explicaciones, ya sean implícitas o explícitas, en los razonamientos o producciones propios, así como en los de otros (por ejemplo, en los de ChatGPT). Finalmente, que puedan evaluar estos razonamientos a la luz de los modelos, leyes, teorías de la física que se hayan trabajado en la clase. Esto podría llevarse adelante, reconociendo y transformando explicaciones reduccionistas o analizando explícitamente qué elementos debería incluir una explicación compleja –no reduccionista–. Estas estrategias propuestas han resultado valiosas para mejorar la comprensión de contenidos en el área de la biología (Hartelt y Martens, 2024; Wingert et al., 2022), pero han sido poco exploradas en el área de la física. Si bien existen investigaciones que muestran que el desarrollo de las habilidades metacognitivas se vuelve esencial en la resolución de los PI (Lawanto, 2010; Perry et al., 2018), hipotetizamos que el desarrollo de la vigilancia metacognitiva podría ayudar a los estudiantes a pasar del estadio 2 al estadio 3 en el aprendizaje de la IE (Inorreta, 2024).

El estudio realizado abre la puerta a futuras investigaciones que examinen con mayor profundidad cómo ChatGPT y otras herramientas de inteligencia artificial pueden servir para apoyar el aprendizaje de conceptos científicos complejos y la resolución de problemas abiertos en la enseñanza. Proyectamos explorar intervenciones didácticas que profundicen en la relación entre el diseño de *prompts* y la calidad de las respuestas, así como en el desempeño comparativo de ChatGPT frente a otras tecnologías utilizadas como prótesis cognitivas que integren de manera más explícita el desarrollo de competencias metacognitivas, como la vigilancia, así como la evaluación del impacto a largo plazo de estas herramientas en el rendimiento académico y profesional de los estudiantes.

ANEXO 1

Referencial esperado en relación con las tres primeras actividades

<i>Tarea</i>	<i>Acciones</i>	<i>Conocimientos</i>	<i>Respuestas esperadas</i>	<i>Habilidades</i>	<i>Conceptos/leyes /modelos</i>
Elaborar explicación del dispositivo	Presentar problemática y formular preguntas. Redactar descripción clara del problema	Funcionamiento de circuitos eléctricos. Inducción electromagnética	Explicación coherente sobre el principio de funcionamiento	Identificar objetivos y contexto. Redactar preguntas precisas. Evaluar información	Principios de inducción electromagnética y circuitos
Seleccionar materiales para el diseño	Investigar sobre materiales. Consultar al ChatGPT. Indicar funciones e interconexiones	Componentes de un cargador por inducción	Lista de materiales y sus funciones interconectadas	Definir contexto y problema. Seleccionar información relevante	Interconexión de componentes eléctricos
Determinar variables para el cargador	Usar App de Inducción Electromagnética. Ajustar variables del circuito primario	Relaciones matemáticas y físicas de la inducción	Parámetros ajustados para lograr 6V de salida	Identificar objetivos y evaluar contexto. Monitorear proceso	Ley de Faraday y flujo magnético

Referencial esperado en relación con la consigna final metacognitiva

<i>Tarea</i>	<i>Acciones</i>	<i>Conocimientos</i>	<i>Respuestas esperadas</i>	<i>Habilidades</i>	<i>Conceptos/leyes /modelos</i>
Identificar qué partes ayudaron a mejorar el diseño	Revisar interacción con ChatGPT y marcar fragmentos clave	Diseño de prototipos, solución de problemas	Partes de la interacción que aportaron mejoras claras	Reflexión, análisis crítico	Modelos de diseño, principios de ingeniería
Identificar conocimientos nuevos o afianzados	Resaltar respuestas donde se aprendió algo nuevo	Conceptos técnicos o metodológicos	Fragmentos específicos que ampliaron conocimientos	Aprendizaje autónomo, validación de información	Leyes de la física aplicadas, metodología de diseño
Detectar momentos de duda y su resolución	Señalar respuestas que generaron dudas y cómo se resolvieron	Diferenciación entre información correcta y errónea	Explicaciones y búsqueda de fuentes alternativas	Pensamiento crítico, verificación de datos	Métodos de validación, principios de razonamiento lógico
Reflexionar sobre el aprendizaje con ChatGPT	Analizar ventajas y limitaciones del uso de IA	Uso de herramientas digitales en el aprendizaje	Argumentos sobre la utilidad del ChatGPT en el presente y futuro	Autorregulación del aprendizaje, evaluación de recursos	Inteligencia artificial en educación, epistemología del aprendizaje

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almudí, J. M., Zuza, K., & Guisasola, J. (2016). Aprendizaje de la teoría de inducción electromagnética en cursos universitarios de física general: Una enseñanza por resolución guiada de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(2), 7-24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1612>
- Avargil, S., Dori, Y. J., & Lavi, R. (2018). Students' Metacognition and Metacognitive Strategies in Science Education. En Y. J. Dori, Z. R. Mevarech, & D. R. Baker (Eds.), *Cognition, Metacognition and Culture in STEM Education* (pp. 33-64). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66659-4_3
- Astolfi, J. & Peterfalvi, B. (2001). Estrategias para trabajar los obstáculos: dispositivos y resortes. *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza*, 191-223.
- Azevedo, R. (2020). Reflections on the field of metacognition: issues, challenges, and opportunities. *Metacognition and Learning*, 15, 91-98. <https://doi.org/10.1007/s11409-020-09231-x>
- Braun, V. & Clarke, V. (2013). *Successful qualitative research: A practical guide for beginners*. Sage.
- Braunmüller, M., Bravo, B., & Juárez, A. (2019). La enseñanza y el aprendizaje del fenómeno de Inducción Electromagnética (IE) en el ciclo básico de carreras de Ingeniería. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31, 97-105. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/26533>
- Bravo, B., Montero, M., Juárez, M., & Solari, F. (2021). Desarrollo de la competencia de resolución de problemas ingenieriles en clases de Física. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 16(2), 1-17. <https://reiec.unicen.edu.ar/reiec/article/view/304>
- Cain, W. (2023). GPTeammate: A design fiction on the use of variants of the GPT language model as cognitive partners for active learning in higher education. En E. Langran, P. Christensen, & S. Sanson (Eds.), *Proceedings of the Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (pp. 1293-1298). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Catalán, L., Caballero Sahelices, C., & Moreira, M. A. (2010). Niveles de conceptualización en el campo conceptual de la inducción electromagnética: Un estudio de caso. *Latin-American Journal of Physics Education*, 4(1), 126-142.
- Cedeño Tapia, S. J. (2023). La inteligencia artificial como herramienta complementaria en la investigación y educación: responsabilidad ética y humana. *Revista Unidad Sanitaria XXI*, 3(8). <https://doi.org/10.57246/rusxxi.v3i8.47>
- Chi, M. T. H., Roscoe, R. D., Slotta, J. D., Roy, M., & Chase, C. L. (2012). Misconceived causal explanations for emergent processes. *Cognitive Science*, 36(1), 1-61. <https://doi.org/10.1111/j.1551-6709.2011.01207.x>
- Conejo-Villalobos, M., Arguedas-Matarrita, C., & Concari, S. B. (2019). Difundiendo el uso de laboratorios remotos para la enseñanza de la física: Talleres con docentes y estudiantes. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31, 205-213.
- Cooper, G. (2023). Examining science education in ChatGPT: An exploratory study of generative artificial intelligence. *Journal of Science Education and Technology*, 32(3), 444-452.
- Couso, D., Izquierdo, M., & Merino Rubilar, C. (2008). La resolución de problemas. En C. Merino Rubilar, A. Gómez Galindo, & A. Adúriz-Bravo (Coords.), *Áreas y estrategias de investigación en la didáctica de las ciencias experimentales* (pp. 65-86). Universidad Autónoma de Barcelona.
- Davidson, J., Deuser, R., & Sternberg, R. (1994). The role of metacognition in problem solving. En J. Metcalfe & A. Shimamura (Eds.), *Metacognition: Knowing about knowing* (pp. 207-226). The MIT Press.
- Fabre, M. & Orange, C. (2001). Construcción de problemas y superación de obstáculos. En A. Camillon (Comp.), *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza* (pp. 63-90). Gedisa.

- Flick, U. (2007). *Introducción a la investigación cualitativa*. Morata.
- García, J. & Rentería Rodríguez, E. (2012). La medición de la capacidad de resolución de problemas en las ciencias experimentales. *Ciência & Educação (Bauru)*, 18, 755-767.
- Giere, R. N. & Moffatt, B. (2003). Distributed cognition: Where the cognitive and the social merge. *Social Studies of Science*, 33(2), 301-317. <https://doi.org/10.1177/03063127030332017>
- Gómez-Carmona, O. et al. (2023). Mind the gap: The AURORAL ecosystem for the digital transformation of smart communities and rural areas. *Technology in Society*, 74, 102304. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102304>
- González Galli, L., Pérez, G., Cupo, B., & Alegre, C. (2022). Revisión y revalorización del concepto de obstáculo epistemológico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Ciência & Educação (Bauru)* (28), e22040. <https://doi.org/10.1590/1516-731320220040>
- Hartelt, T. & Martens, H. (2024). Influence of self-assessment and conditional metaconceptual knowledge on students' self-regulation of intuitive and scientific conceptions of evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 61(5), 1134-1180. <https://doi.org/10.1002/tea.21938>
- Inorreta, Y., Bravo, B., & Bravo, S. (2023). Estudio del desarrollo del conocimiento en inducción electromagnética en estudiantes de nivel secundario. *Revista de Enseñanza de la Física*, 35, 191-199. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/43307>
- Inorreta, Y. (2024). *El aprendizaje y la enseñanza del fenómeno de inducción electromagnética en la educación secundaria*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires [en prensa].
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux.
- Krieger, F., Azevedo, R., Graesser, A. C., & Greiff, S. (2022). Introduction to the special issue: The role of metacognition in complex skills-spotlights on problem solving, collaboration, and self-regulated learning. *Metacognition and Learning*, 17(3), 683-690. <https://doi.org/10.1007/s11409-022-09327-6>
- Lawanto, O. (2010). Students' metacognition during an engineering design project. *Performance Improvement Quarterly*, 23(2), 117-136. <https://doi.org/10.1002/piq.20084>
- López-Quintero, J., Pontes-Pedrajas, A., & Varo-Martínez, M. (2019). Las TIC en la enseñanza científico-técnica hispanoamericana: Una revisión bibliográfica. *Digital Education Review*, 229-243.
- Marra, R. M., Hacker, D. J., & Plumb, C. (2022). Metacognition and the development of self-directed learning in a problem-based engineering curriculum. *Journal of Engineering Education*, 111(1), 137-161. <https://doi.org/10.1002/jee.20437>
- Mercado del Collado, R. & Reyes, R. (2024). ChatGTP como compañero cognitivo. *Revista Paraguaya de Educación a Distancia*, 5(2), 17-31.
- Monereo, C., Castelló, M., Clariana, M., Palma, M., & Pérez, M. (2012). *Estrategias de enseñanza y aprendizaje* (2.ª ed.). Graó.
- Monereo, C. & Pozo, J. I. (2007). Competencias para (con)vivir con el siglo XXI. *Cuadernos de Pedagogía*, 370, 12-18.
- Naizaque Aponte, N. (2013). *Diseño de una estrategia didáctica para la enseñanza de la inducción electromagnética*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia.
- Neuendorf, K. (2019). Content analysis and thematic analysis. En P. Brough (Ed.), *Research Methods for Applied Psychologists: Design, Analysis and Reporting* (pp. 211-223). Routledge.
- Ng, D., Tan, C., & Leung, J. K. L. (2024). Empowering student self-regulated learning and science education through ChatGPT: A pioneering pilot study. *British Journal of Educational Technology*, 55(4), 1328-1353. <https://doi.org/10.1111/bjet.13454>

- Ortiz, L., Bekerman, Z., & Ros, M. (2024). Presentación del número especial de RED «IA generativa, ChatGPT y Educación. Consecuencias para el Aprendizaje Inteligente y la Evaluación Educativa». *Revista de Educación a Distancia*, 24(78).
- Perry, J., Lundie, D., & Golder, G. (2018). Metacognition in schools: What does the literature suggest about the effectiveness of teaching metacognition in schools? *Educational Review*, 71(4), 483-500. <https://doi.org/10.1080/00131911.2018.1441127>
- Pozo, J. I. & Pérez Echeverría, P. (2009). Aprender para comprender y resolver problemas. *Psicología del aprendizaje universitario*, 31-53.
- Pozo, J. I. (2016). *Aprender en tiempos revueltos*. Comercial Grupo ANAYA, SA.
- Ritchhart, R., Church, M., & Morrison, K. (2014). *Hacer visible el pensamiento*. Paidós.
- Tan, O. (2004). Cognition, metacognition, and problem-based learning. En O. Tan (Ed.), *Enhancing thinking through problem-based learning approaches: International perspectives* (pp. 1-16). Cengage Learning.
- Truyol, M., Gangoso, Z., & López, V. (2012). Modeling in physics: A matter of experience? *Latin-American Journal of Physics Education*, 6(1), 260-265.
- 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*, 15(3), 463-484.
- Viennot, L. (2011). Els molts reptes d'un ensenyament de les ciències basat en la indagació: Ens aportaran múltiples beneficis en l'aprenentatge? *Ciències: Revista del Professorat de Ciències de Primària i Secundària*(18), 22-36.
- Vosniadou, S. (2012). Reformulación del enfoque clásico del cambio conceptual: Ideas preconcebidas, ideas erróneas y modelos sintéticos. En B. J. Fraser, K. G. Tobin, & C. J. McRobbie (Eds.), *Segundo manual internacional de educación científica* (pp. 119-130).
- Werner da Rosa, C. & Ghiggi, C. (2018). Resolução de problemas em Física envolvendo estratégias metacognitivas: Análise de propostas didáticas. *Investigações em Ensino de Ciências*, 23(3), 31-59. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n3p31>
- Wingert, J. R., Jones, J. C., Swoap, R. A., & Wingert, H. M. (2022). Mindfulness-based strengths practice improves well-being and retention in undergraduates: A preliminary randomized controlled trial. *Journal of American College Health*, 70(3), 783-790.
- Zohar, A., & Barzilai, S. (2013). A review of research on metacognition in science education: Current and future directions. *Studies in Science education*, 49(2), 121-169. <https://doi.org/10.1080/03057267.2013.847261>
- Zuza, K., Almudí, J. M., y Guisasola, J. (2012). Revisión de la investigación acerca de las ideas de los estudiantes sobre la interpretación de los fenómenos de Inducción electromagnética. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 30(2), 175-19. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v30n2.565>

Use of Generative Artificial Intelligence to Solve Physics Problems in Engineering

Bettina Bravo
CONICET, Universidad Nacional del Centro
de la Provincia de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
bbravo@fio.unicen.edu.ar
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3941-0547>

Gastón Pérez
CONICET, Universidad de Buenos Aires,
Buenos Aires, Argentina.
gastonperezbio@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9751-2042>

Yesica Inorreta, Yanina Jara
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires,
Buenos Aires, Argentina.
yesicainorreta@gmail.com, jaracyanina@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3609-0899>, <https://orcid.org/0009-0002-3647-6900>

This study presents an exploratory analysis of integrating generative artificial intelligence (AI) into engineering education, focusing on ChatGPT's role in solving engineering problems related to electromagnetic induction. We examine how ChatGPT functions as a cognitive prosthesis by supporting theoretical reasoning and metacognitive regulation in a physics course at the National University of Central Buenos Aires, involving 70 engineering students, aged 20–22, organized into eight groups. Employing a qualitative-interpretative exploratory design, participants engaged in a problem-solving sequence to design an inductive phone charger using ChatGPT alongside a virtual Faraday Lab, followed by a structured metacognitive reflection activity. Data sources included students' written group solutions and complete ChatGPT interaction logs, which were subjected to thematic analysis. Results reveal three central themes: 1) Reductionist reasoning: both student' and ChatGPT' explanations often remained monivariate, focusing on single causal factors rather than the multivariate nature of electromagnetic induction; 2) cognitive prosthesis for material selection: ChatGPT proved effective at retrieving component information and suggesting materials, yet its recommendations sometimes exceeded the course's theoretical scope and depended heavily on prompt specificity; 3) prompt engineering as a critical skill: the conceptual accuracy and contextual relevance of AI responses were directly linked to the students' ability to formulate clear, detailed prompts. While ChatGPT enhanced conceptual understanding of electromagnetic induction, fostered metacognitive strategies, and supported self-regulated learning, persistent challenges included oversimplified scientific explanations and variable student critical evaluation of AI outputs. We conclude that effective integration of generative AI in STEM education requires explicit instruction in prompt design, metacognitive monitoring, and the development of didactic guidelines to leverage AI as a genuine cognitive prosthesis. Future research should explore adaptive learning environments, quantitative outcome measures, and comparative analyses with other technological tools to further optimize AI-supported problem solving.

