

## Del razonamiento intuitivo al pensamiento científico: procesos de aprendizaje sobre la inducción electromagnética en estudiantes de ingeniería

Bettina Bravo<sup>1</sup>, Marta Pesa<sup>2</sup>

[bbravo@fio.unicen.edu.ar](mailto:bbravo@fio.unicen.edu.ar) , [martapesa09@gmail.com](mailto:martapesa09@gmail.com)

<sup>1</sup>CONICET. Centro de Investigación ArECyCI, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Bs. As, Olavarría, Argentina.

<sup>2</sup>Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina.

### Resumen

Este estudio analiza los procesos de aprendizaje sobre el fenómeno de inducción electromagnética (IE) en estudiantes de ingeniería durante una secuencia de enseñanza diseñada según el modelo IDAS, que integra cuatro instancias didácticas: iniciación, desarrollo, aplicación y síntesis. Se adoptó como metodología de investigación el estudio de caso cualitativo–interpretativo con doce estudiantes de Física II, en el que se examinaron producciones individuales y grupales correspondientes a las cuatro fases didácticas. El análisis, organizado a partir de categorías previamente definidas, permitió caracterizar distintos niveles de comprensión del fenómeno. Los resultados sugieren una evolución conceptual progresiva. En la fase de iniciación predominan explicaciones intuitivas, fenomenológicas y monocausales, mientras que en la fase de desarrollo los estudiantes comienzan a reconocer el rol del flujo magnético asociado a la generación de IE y, en algunos casos, su variación en el tiempo, aunque aún con razonamientos parcialmente lineales. Durante la fase de aplicación, todos logran utilizar adecuadamente la ley de Faraday para dimensionar un cargador por inducción, pero persistieron dificultades para articular una explicación cualitativa completa. En la etapa de síntesis, la mayoría alcanzó explicaciones causales y sistémicas apoyadas en modelos cualitativos y matemáticos, sugiriendo un proceso de reconstrucción conceptual. Los hallazgos destacan el valor de secuencias didácticas progresivas que integran exploración, modelización, resolución de problemas y reflexión metacognitiva para favorecer aprendizajes profundos en física. El estudio aporta evidencia sobre cómo los estudiantes construyen y transforman sus modos de conocer y ofrece orientaciones transferibles a otros contextos de educación científica.

**Palabras clave:** Aprendizaje de la Física; Inducción Electromagnética; Formación en ingeniería.

### From intuitive reasoning to scientific thinking: learning processes on electromagnetic induction in engineering students

#### Abstract

This study analyzes learning processes related to the phenomenon of electromagnetic induction (EMI) in engineering students during a teaching sequence designed according to the IDAS model, which integrates four didactic phases: initiation, development, application, and synthesis. A qualitative–interpretative case study methodology was adopted with twelve Physics II students, examining individual and group productions corresponding to the four didactic phases. The analysis, organized around previously defined categories, made it possible to characterize different levels of understanding of the phenomenon. The results suggest a progressive conceptual evolution. In the initiation phase, intuitive, phenomenological, and monocausal explanations predominate, whereas in the development phase students begin to recognize the role of magnetic flux associated with the generation of EMI and, in some cases, its variation over time, although reasoning remains partially linear. During the application phase, all students are able to appropriately use Faraday’s law to design an induction charger, but difficulties persist in articulating a complete qualitative explanation. In the synthesis phase, most students achieve causal and systemic explanations supported by qualitative and mathematical models, suggesting a process of conceptual reconstruction. The findings highlight the value of progressive didactic sequences that integrate exploration, modeling, problem solving, and metacognitive reflection to promote deep learning in

physics. The study provides indications of how students construct and transform their ways of knowing and offers transferable guidelines for other contexts of science education.

**Keywords:** Physics Learning; Electromagnetic Induction; Engineering Education.

## **Do raciocínio intuitivo ao pensamento científico: processos de aprendizagem sobre a indução eletromagnética em estudantes de engenharia**

### **Resumo**

Este estudo analisa os processos de aprendizagem relacionados ao fenômeno da indução eletromagnética (IE) em estudantes de engenharia durante uma sequência de ensino concebida segundo o modelo IDAS, que integra quatro etapas didáticas: iniciação, desenvolvimento, aplicação e síntese. Adotou-se como metodologia de pesquisa o estudo de caso qualitativo-interpretativo, com doze estudantes de Física II, no qual foram examinadas produções individuais e coletivas correspondentes às quatro etapas didáticas. A análise, organizada a partir de categorias previamente definidas, permitiu caracterizar diferentes níveis de compreensão do fenômeno. Os resultados sugerem uma evolução conceitual progressiva. Na etapa de iniciação, predominam explicações intuitivas, fenomenológicas e monocausais, enquanto, na etapa de desenvolvimento, os estudantes passam a reconhecer o papel do fluxo magnético associado à geração da IE e, em alguns casos, sua variação temporal, embora ainda com raciocínios parcialmente lineares. Durante a etapa de aplicação, todos conseguem utilizar adequadamente a lei de Faraday para dimensionar um carregador por indução, porém persistem dificuldades na articulação de uma explicação qualitativa completa. Na etapa de síntese, a maioria alcança explicações causais e sistêmicas apoiadas em modelos qualitativos e matemáticos, sugerindo um processo de reconstrução conceitual. Os achados destacam o valor de sequências didáticas progressivas que integram exploração, modelagem, resolução de problemas e reflexão metacognitiva para favorecer aprendizagens profundas em física. O estudo fornece indícios sobre como os estudantes constroem e transformam seus modos de conhecer e oferece orientações transferíveis para outros contextos de educação científica.

**Palavras-chave:** Aprendizagem da Física; Indução Eletromagnética; Formação em Engenharia.

## **Du raisonnement intuitif à la pensée scientifique : processus d'apprentissage de l'induction électromagnétique chez des étudiants en ingénierie**

### **Résumé**

Cette étude analyse les processus d'apprentissage liés au phénomène de l'induction électromagnétique (IE) chez des étudiants en ingénierie au cours d'une séquence d'enseignement conçue selon le modèle IDAS, qui intègre quatre phases didactiques : initiation, développement, application et synthèse. La méthodologie adoptée est celle de l'étude de cas qualitative et interprétative, menée auprès de douze étudiants de Physique II, au cours de laquelle ont été examinées des productions individuelles et collectives correspondant aux quatre phases didactiques. L'analyse, organisée à partir de catégories préalablement définies, a permis de caractériser différents niveaux de compréhension du phénomène. Les résultats suggèrent une évolution conceptuelle progressive. Lors de la phase d'initiation, les explications intuitives, phénoménologiques et monocausales prédominent, tandis que, dans la phase de développement, les étudiants commencent à reconnaître le rôle du flux magnétique associé à la génération de l'IE et, dans certains cas, sa variation temporelle, bien que les raisonnements restent partiellement linéaires. Au cours de la phase d'application, tous parviennent à utiliser correctement la loi de Faraday pour dimensionner un chargeur par induction, mais des difficultés persistent dans l'articulation d'une explication qualitative complète. À l'étape de synthèse, la majorité des étudiants atteint des explications causales et systémiques, appuyées sur des modèles qualitatifs et mathématiques, suggérant un processus de reconstruction conceptuelle. Les résultats soulignent l'intérêt de séquences didactiques progressives intégrant exploration, modélisation, résolution de problèmes et réflexion métacognitive afin de favoriser des apprentissages approfondis en physique. Cette étude apporte des indices sur la manière dont les étudiants construisent et transforment leurs modes de connaissance et propose des orientations transférables à d'autres contextes d'enseignement des sciences.

**Mots clés:** Apprentissage de la physique ; Induction électromagnétique ; Formation en ingénierie.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La inducción electromagnética (IE) constituye un contenido central en la formación en ingeniería, no solo por su relevancia tecnológica —presente en dispositivos como cargadores inalámbricos, transformadores, generadores y sistemas de transmisión de energía—, sino también porque

integra conceptos de electrodinámica y magnetismo cuya comprensión exige razonamientos plurivariados propios del pensamiento científico. Esta complejidad convierte a la IE en uno de los tópicos de la Física que mayores dificultades presenta para los estudiantes de distintos niveles educativos (Zuza et al., 2012; Härtel, 2018; Kaluba & Mbewe, 2023).

En este escenario se desarrolló el modelo didáctico IDAS (Iniciación, Desarrollo, Aplicación y Síntesis), una metodología centrada en el estudiante orientada a promover la comprensión de conceptos y leyes asociados a la IE, a partir de reorganizaciones conceptuales progresivas y explicaciones cada vez más cercanas al conocimiento científico (Bravo, Pesa y Braunmüller, 2021). Estudios en educación secundaria y en el ciclo básico de ingeniería han documentado mejoras significativas entre las evaluaciones iniciales y finales en aspectos clave como la identificación del fenómeno, la distinción entre magnitudes relevantes y la aplicación de la ley de Faraday (Inorreta, Bravo & Bravo, 2023; 2024; Braunmüller, Bravo & Juárez, 2019; Bravo, Bouciguez & Braunmüller, 2019; Inorreta, Bravo, de Valle Bravo & Pesa, 2025).

No obstante, la mayor parte de estas investigaciones se ha centrado en comparaciones pre-post (al inicio y al final de la instrucción), de modo que aún se conoce poco acerca de los procesos de construcción de conocimiento, es decir, de cómo evoluciona el conocimiento de los estudiantes durante las distintas etapas de la secuencia didáctica, qué transformaciones experimentan las explicaciones que los estudiantes elaboran, qué tensiones emergen y qué mecanismos de reorganización conceptual permiten superar —o mantener— determinadas dificultades. Esta ausencia de información e indicadores limita la comprensión profunda del proceso de aprendizaje de la IE y dificulta la toma de decisiones didácticas fundamentadas orientadas a mejorar la enseñanza del fenómeno.

A fin de dar respuesta a estos problemas, se planteó como objetivo de trabajo caracterizar el conocimiento sobre la IE en estudiantes de ingeniería a lo largo de una secuencia de enseñanza diseñada bajo el modelo IDAS. Para ello se examinaron las producciones escritas de los estudiantes antes, durante y después de implementada la enseñanza, identificando regularidades, cambios, tensiones y categorías conceptuales emergentes, con el fin de aportar evidencia empírica sobre los mecanismos de aprendizaje implicados en la comprensión de la IE.

En función de este objetivo, el estudio se orientó por las siguientes preguntas de investigación:

- a) ¿Qué características presentan las explicaciones sobre la IE elaboradas por estudiantes de ingeniería en las distintas etapas de una secuencia didáctica basada en el modelo IDAS?
- b) ¿Qué transformaciones, avances, tensiones o persistencias se identifican en sus modos de razonar a lo largo del proceso de enseñanza?

A diferencia de los estudios previos desarrollados en el marco del modelo IDAS (véase por ejemplo Bravo, Pesa, & Braunmüller, 2021; Inorreta, Bravo & Bravo, 2023; Inorreta, Bravo & Pesa, 2025) este trabajo ofrece evidencia empírica sobre la evolución interna del conocimiento durante la secuencia de enseñanza. El análisis se focalizó en las transformaciones que emergen en cada etapa, permitiendo identificar continuidades, tensiones, avances parciales y reorganizaciones conceptuales que no pueden observarse en estudios de evaluaciones finales o análisis comparativos. Este enfoque intracurso constituye un aporte original y complementario al corpus existente, al ofrecer una mirada

procesual del aprendizaje de la Física, contextualizado en este caso en cursos introductorios de formación de ingenieros.

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. Dificultades en el aprendizaje de la IE

Resultados de diversos trabajos de investigación, entre los que se encuentran los realizados por nuestro equipo de trabajo, ponen de manifiesto que el aprendizaje de la IE presenta múltiples desafíos para los estudiantes, debido a la complejidad y alto nivel de abstracción de los conceptos involucrados. En particular, la literatura ha señalado que la comprensión de la IE requiere articular múltiples niveles de representación —fenomenológicos, conceptuales y matemáticos— así como establecer relaciones causales entre variables que no resultan directamente observables (Guisasola et al., 2013; Jelacic et al., 2017; Zuza et al., 2012). Diversos estudios muestran que los estudiantes presentan dificultades persistentes para interpretar la ley de Faraday, diferenciar flujo magnético y campo magnético, reconocer la variación temporal del flujo como condición necesaria para la inducción y construir explicaciones coherentes del fenómeno (Zuza et al., 2012). Asimismo, suelen evidenciar formas de razonamiento centradas en la aplicación memorística de fórmulas o en descripciones fenomenológicas desvinculadas del modelo físico subyacente.

En suma, la evidencia reportada en la literatura muestra que la IE constituye una temática que presenta importantes dificultades de aprendizaje para estudiantes de distintos niveles educativos, debido a la complejidad conceptual y representacional de los fenómenos involucrados. Dada su relevancia académica, científica y tecnológica, persiste la necesidad de indagar en profundidad los obstáculos que enfrentan los estudiantes para desarrollar el pensamiento físico que su comprensión exige, particularmente la capacidad de articular representaciones matemáticas con la construcción de modelos causales y explicaciones basadas en la variación y la interacción.

### 2.2. Investigaciones previas sobre la enseñanza de la IE mediante el modelo IDAS

En el marco del conjunto de dificultades identificadas, y con el objetivo de favorecer el aprendizaje de la IE en estudiantes de nivel secundario y ciclo básico de carreras de ingeniería, se ha desarrollado y consolidado una propuesta de enseñanza basada en el modelo didáctico IDAS. IDAS, denominado así por las instancias que lo estructuran, Iniciación, Desarrollo, Aplicación y Síntesis (Bravo, Pesa & Braunmüller, 2021) se sustenta en un marco teórico que concibe el aprendizaje de las ciencias como un proceso de cambio profundo en el modo de conocer, que implica superar razonamientos intuitivos, lineales y sustancialistas para avanzar hacia explicaciones sistémicas propias del conocimiento científico.

IDAS organiza la enseñanza en cuatro instancias articuladas que integran actividades que implican análisis cualitativos y cuantitativos de situaciones reales (o pseudoreales) realización de experimentos reales y virtuales, resolución de problemas cada vez más abiertos y procesos de reflexión y

metacognición. Su diseño, fundamentado en la Investigación Basada en Diseño (Guisasola, et al, 2021) busca favorecer no solo la comprensión de conceptos, leyes y modelos, sino también el desarrollo de habilidades de resolución de problemas, el uso crítico de las Tecnología de la Información y la Comunicación (TIC) y una progresiva sofisticación epistemológica y metacognitiva.

Este modelo ha sido implementado en diversas investigaciones que validan su potencial didáctico. En el campo de la IE y en el nivel secundario, los estudios de Inorreta, Bravo y Bravo (2021, 2023, 2024), junto con el trabajo de Inorreta, Bravo, de Valle Bravo y Pesa (2025), aportan evidencia consistente sobre los avances que los estudiantes logran a lo largo de la enseñanza. Estos trabajos muestran mejoras significativas en la identificación del fenómeno y en la comprensión de los conceptos y leyes centrales, particularmente en la articulación entre campo, flujo magnético variable y fem inducida. Asimismo, documentan una progresiva complejización de las explicaciones elaboradas por los estudiantes y el desarrollo de habilidades para resolver problemas vinculados con el fenómeno, sugiriendo procesos de reorganización conceptual que permiten transitar desde explicaciones fenomenológicas hacia modelos más próximos al conocimiento científico.

En el ciclo básico de ingeniería también se registran resultados favorables. Braunmüller, Bravo y Juárez (2019) y Bravo, Bouciguez y Braunmüller (2019) documentaron mejoras en las explicaciones estudiantiles y en la capacidad para relacionar variaciones temporales del flujo con la generación de corriente inducida, tanto en términos cualitativos como cuantitativos.

A pesar de la consistencia de estos resultados, la mayoría de las investigaciones centradas en IDAS se han basado en comparaciones pre-post, focalizándose en los resultados alcanzados al finalizar la secuencia. Como se adelantó, hasta el momento, son escasos los estudios que analizan de manera sistemática cómo se transforma el conocimiento de los estudiantes durante las cuatro etapas de la secuencia, qué tensiones emergen en la transición entre fases y qué dificultades persisten a lo largo del proceso.

Este vacío limita la comprensión de los mecanismos de aprendizaje implicados en un fenómeno tan complejo como la IE y subraya la necesidad de estudios que examinen con mayor fineza la evolución conceptual intermedia, más allá de los resultados iniciales y finales, para fundamentar decisiones didácticas más precisas y contextualizadas.

### 3. MARCO TEÓRICO

El presente estudio se enmarca en una perspectiva cognitiva que articula tres dimensiones complementarias. En primer lugar, se adopta el enfoque de Pozo (2001, 2007, 2016) sobre los modos de conocer y la transición desde aprendizajes intuitivos hacia formas representacionales del pensamiento científico. En segundo lugar, se recuperan aportes del cambio conceptual y representacional para comprender cómo los estudiantes reorganizan sus modelos explicativos sobre fenómenos no observables como el campo o el flujo

magnético (Duit & Treagust, 2021; Vosniadou, 2019). Finalmente, se incorpora la noción de razonamiento causal y plurivariado propia del aprendizaje en física (Salinas & Sandoval, 1996; ; Pesa y Cudmani, 1998, Bravo, 2008), que permite analizar el pasaje desde explicaciones lineales y locales hacia interpretaciones sistémicas. Este marco integrador orienta el análisis de las producciones estudiantiles y sustenta la definición de las categorías conceptuales utilizadas. Desde esta perspectiva, el modelo didáctico IDAS se constituye en el marco de acción pedagógica que estructura la secuencia de enseñanza analizada, lo que permite analizar cómo evolucionan los modos de conocer durante las diferentes fases de aprendizaje.

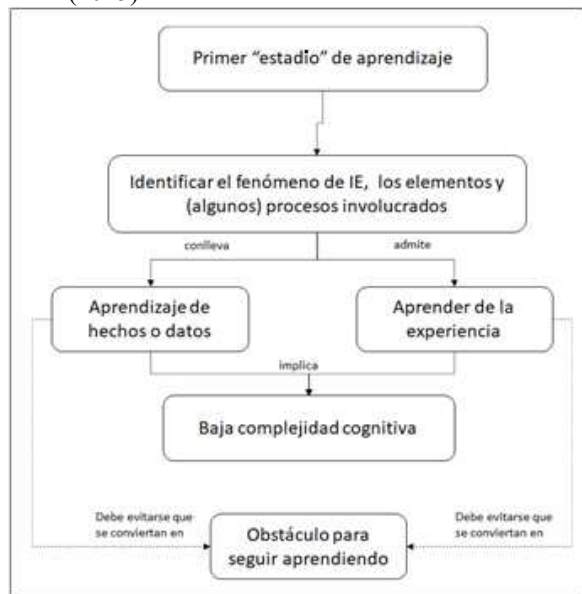
En este trabajo, la evolución conceptual no se entiende como un proceso lineal, acumulativo ni sustitutivo de las concepciones intuitivas por las científicas. En línea con las críticas formuladas al enfoque clásico del cambio conceptual (Moreira, 2000), se asume que el aprendizaje científico implica procesos de reorganización progresiva y dinámica de los modos de conocer, en los que pueden coexistir explicaciones intuitivas, fenomenológicas y científicas. Desde esta perspectiva, las concepciones iniciales no necesariamente desaparecen, sino que pueden mantenerse y reconfigurarse en función del contexto, la tarea y el nivel de integración conceptual alcanzado, configurando perfiles conceptuales diferenciados. Por ello, cuando en este estudio se alude a una evolución conceptual progresiva, se hace referencia a un proceso no lineal, atravesado por avances parciales, tensiones, reorganizaciones y momentos de integración conceptual (Bravo, Pesa & Pozo, 2008; Bravo, Pesa & Pozo, 2009; Braunmüller, Bravo, & Juárez, 2019; Bravo, Inorreta, Bravo & Pesa, 2025).

#### 3.1. El aprendizaje de la IE

El aprendizaje IE presenta una complejidad particular, en gran parte porque los estudiantes —incluso en el nivel universitario— suelen desconocer el fenómeno al llegar al aula. Este rasgo inicial establece el **primer gran desafío: identificar los hechos básicos**, es decir, reconocer, por ejemplo, que el movimiento relativo entre un imán y un circuito cerrado puede generar corriente eléctrica.

Este **primer estadio de aprendizaje** (Figura 1), centrado en hechos o datos, se corresponde con un nivel de **bajo esfuerzo cognitivo** (Pozo y Gómez Crespo, 1998), ya que se apoya en la percepción directa de regularidades y en explicaciones basadas en elementos visibles sin atender a causas profundas (Pozo, 2016). El **aprendizaje por experiencia**, uno de los mecanismos cognitivos más potentes, favorece esta aproximación inicial: los estudiantes construyen saberes a partir de lo que ven y experimentan (Hogarth, 2002; Pozo, 2001).

**Figura 1. Primer nivel de aprendizaje.** Fuente: Inorreta y otros (2025)



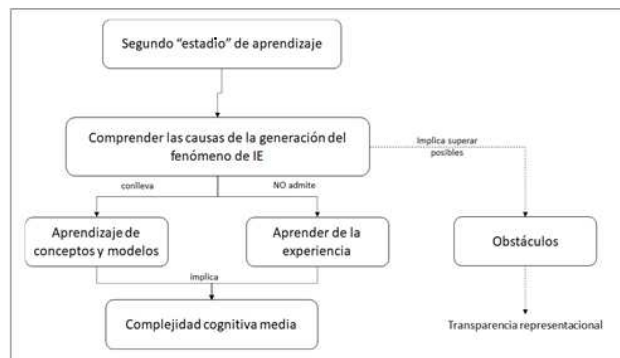
Sin embargo, este nivel resulta insuficiente como horizonte de llegada, pues puede conducir a **explicaciones reduccionistas**, tales como atribuir al imán un rol suficiente para generar corriente o considerar que el fenómeno depende de variables aisladas. En estos casos, operan principios propios del **saber cotidiano** —causalidad lineal, atención a propiedades en lugar de funciones— que entran en tensión con los principios de **interacción** y **variación** que caracterizan al conocimiento científico.

Por ello, superada la instancia inicial, el aprendizaje debe orientarse hacia un **segundo estadio**, centrado en la **construcción de modelos explicativos**. Conceptos abstractos como *campo magnético* y *flujo magnético* permiten dotar de significado a los hechos observados y articular explicaciones que integren **interacción, variación temporal y generación de corriente**.

No obstante, la **naturaleza no observable** de estos conceptos —campo, flujo, variación temporal del flujo— introduce una complejidad adicional. Su comprensión exige superar la tendencia intuitiva a asumir que *“lo que no se ve, no existe”* (Pozo, 2007) y reconocer que el conocimiento científico es **representacional**, construido a través de modelos que no son la realidad, sino herramientas para explicarla.

Este **segundo estadio de aprendizaje** (Figura 2), centrado en la **comprensión**, es **cognitivamente más exigente**: requiere integrar nueva información, relacionarla con saberes previos, explicarla con las propias palabras y transferirla a diversos contextos (Pozo, 2016).

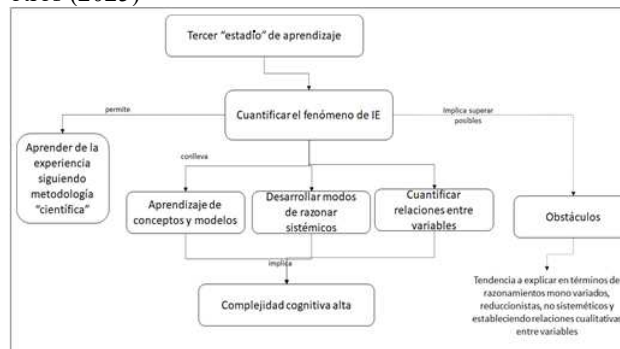
**Figura 2. Segundo estadio de aprendizaje.** Fuente: Inorreta y otros (2025)



Pero la comprensión profunda de la IE requiere activar **modos de razonamiento pluricausales y sistémicos**. Este tipo de razonamiento permite reconocer que la mera existencia de un flujo magnético **no basta**: es imprescindible que **varíe en el tiempo** para que se induzca una corriente y con ello que varíe el campo magnético, el área de la espira y/o la orientación campo espira.

La tendencia inicial, ampliamente documentada, es utilizar **razonamientos monocausales, lineales y locales** (Salinas y Sandoval, 1996; Inorreta, Bravo, de Valle Bravo y Pesa (2025). Avanzar hacia razonamientos sistémicos que integren múltiples variables y relaciones cuantitativas constituye un desafío central del aprendizaje de la IE. La **ley de Faraday** lo muestra claramente al demandar la identificación, variación y modelización de varias magnitudes y procesos. Esta etapa corresponde a un **tercer estadio de aprendizaje** (Figura 3), donde se articulan conceptos, relaciones causales y modelos matemáticos.

**Figura 3. Tercer estadio de aprendizaje.** Fuente: Inorreta y otros (2025)



En este marco, los tres estadios descritos —del reconocimiento de hechos a la modelización explicativa y al razonamiento sistémico y cuantitativo— permiten comprender por qué la IE demanda una profunda reorganización cognitiva. No se trata solo de entender un contenido específico, sino de ampliar los modos de pensamiento que habilitan interpretaciones más potentes, generalizables y próximas al conocimiento científico.

### 3.2. La enseñanza de la IE

El modelo didáctico IDAS se diseña especialmente para favorecer un aprendizaje como el descrito. El mismo fue desarrollado en el marco de la Investigación Basada en Diseño (IBD), lo que permitió construir, implementar y

refinar secuencias de enseñanza de manera iterativa en colaboración con docentes, articulando fundamentos teóricos y evidencias empíricas provenientes del aula (Bravo y otros, 2025).

En la fase de Iniciación se recuperan conocimientos previos y se generan preguntas orientadoras. Durante el Desarrollo los estudiantes experimentan, observan, manipulan variables y (re) construyen conceptos claves como campo, flujo magnético y la ley de Faraday. En la etapa de Aplicación resuelven problemas contextualizados, integrando conceptos cualitativos, modelos matemáticos y análisis de variables, con apoyo de simulaciones e inteligencia artificial generativa. Finalmente, en la Síntesis reflexionan sobre sus procesos de comprensión, comparan sus ideas iniciales y finales y aplican lo aprendido a nuevos contextos favoreciendo la metacognición y la transferencia.

En <https://doi.org/10.5281/zenodo.17634602> puede accederse a la propuesta completa diseñada especialmente en esta investigación para abordar la enseñanza de la IE.

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. Enfoque y diseño**

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo–interpretativo, orientado a comprender cómo los estudiantes del ciclo básico de carreras científico – tecnológicas, como las de ingeniería, construyen conceptos y leyes vinculados a la IE durante la secuencia de enseñanza diseñada. Se adoptó un estudio de caso que permitió analizar en profundidad las transformaciones del conocimiento de las estudiantes evidenciadas a lo largo del proceso de enseñanza.

### **4.2. Instrumento de recolección de datos**

Como instrumento de recolección de datos se utilizaron actividades incluidas en la propuesta de enseñanza, pertenecientes a las distintas instancias didácticas: Iniciación, Desarrollo, Aplicación y Síntesis. En la instancia de Iniciación se plantearon dos actividades diagnósticas orientadas a explorar los conocimientos previos y los modos de razonar de los estudiantes sobre circuitos eléctricos e inducción electromagnética.

En la primera actividad, se presentaron tres configuraciones de circuitos simples (resistencia conectada a una batería, a un capacitor descargado y a una espira próxima a un imán en movimiento). Los estudiantes debían indicar en cuáles se produciría corriente eléctrica y justificar su respuesta. En la segunda actividad se cuestionó a los estudiantes acerca de la posibilidad de encender una lámpara haciendo uso de un imán. Se incluyeron cuatro respuestas modelo para seleccionar y justificar, además de un espacio para proponer alternativas propias.

Ambos instrumentos permitieron identificar concepciones intuitivas, explicaciones fenomenológicas y criterios iniciales la posibilidad de generar corriente en un circuito por IE. Con el fin de recolectar datos en la instancia de Desarrollo se propuso una actividad de elaboración de esquemas

conceptuales con el propósito de analizar cómo los estudiantes organizaban y relacionaban los conceptos centrales del fenómeno de IE. Se solicitó que incluyera, al menos, los conceptos campo magnético, flujo magnético, circuito eléctrico, corriente eléctrica y ley de Faraday, pudiendo agregar otros que consideraran necesarios. Además, debían autoevaluar sus relaciones conceptuales marcando las flechas según el siguiente criterio: verde: relaciones que pueden explicar con claridad, azul: relaciones sobre las que presentan dudas (con preguntas justificadas), rojo: relaciones que no comprenden plenamente.

Este instrumento permitió identificar la estructura conceptual de los estudiantes, el tipo de relaciones que establecían entre los conceptos y las zonas de seguridad, duda o desconocimiento dentro de su organización cognitiva.

En la instancia de Aplicación se implementó una tarea de diseño ingenieril en grupos, centrada en la elaboración de un prototipo de cargador inalámbrico por inducción capaz de entregar 6 V de salida. La resolución de esta actividad permitió indagar cómo los estudiantes integraban explicaciones cualitativas, modelización matemática, control de variables y toma de decisiones de diseño en un problema real y significativo.

En la instancia de Síntesis se utilizó una actividad integradora centrada en el análisis de un dínamo de bicicleta como dispositivo de inducción electromagnética. Complementariamente, se incluyeron preguntas de reflexión metacognitiva orientadas a que los estudiantes comparen sus ideas iniciales y finales sobre la IE, reconozcan qué aprendieron y qué estrategias les resultaron más útiles. Esto permitió relevar no solo la consolidación conceptual, sino también el grado de toma de conciencia sobre sus propios procesos de aprendizaje.

### **4.3. Participantes**

La propuesta didáctica fue implementada en un curso de estudiantes de Física II (Facultad de Ingeniería, UNCPBA), cuyos contenidos básicos están relacionados con el electromagnetismo. Se analizaron las producciones de doce estudiantes que participaron de todas las clases (cuatro en total, de 3 hs cada una, de carácter no obligatorio) en la que se abordó la temática sobre IE.

La participación fue voluntaria y se obtuvo consentimiento informado. Se garantizó anonimato mediante seudónimos y resguardo de las producciones. Todos los procedimientos se ajustaron a los principios éticos de la investigación educativa, asegurando confidencialidad, respeto y protección de datos personales.

### **4.4. Análisis de datos**

Se relevaron y analizaron producciones individuales y grupales correspondientes a las cuatro etapas de la secuencia de enseñanza, con el fin de caracterizar la evolución del conocimiento de los estudiantes. La integración de fuentes se justificó porque permite reconstruir la progresión conceptual a nivel del proceso de enseñanza, manteniendo consistencia

metodológica al focalizar en los productos cognitivos expresados en cada instancia.

Todas las producciones fueron transcritas y codificadas en cuatro categorías —dejando abierta la posibilidad de la emergencia de nuevas— definidas a partir de investigaciones previas del equipo de trabajo (Bravo, B., Pesa, M., & Braunmüller, M. (2021). Inorreta, Y., Bravo, B., & Bravo, S. (2023) Inorreta, Y., Bravo, S. de Valle, & Pesa, M. (2025) y del modelo teórico que distingue distintos niveles de comprensión del fenómeno de IE.

La categorización de las producciones se realizó considerando como referencia el modelo científico de la inducción electromagnética que se esperaba que los estudiantes construyeran progresivamente a lo largo de la secuencia didáctica. En particular, se consideró central la comprensión de la ley de Faraday como modelo explicativo del fenómeno, reconociendo que la generación de una fem inducida depende de la variación temporal del flujo magnético y no de la mera presencia de un campo o flujo magnético. En este sentido, se valoró que las explicaciones estudiantiles lograran establecer relaciones causales entre las variables involucradas, articular representaciones cualitativas y matemáticas y utilizar la ley de Faraday con significado físico y no únicamente de manera algorítmica. A partir de estos criterios se analizaron las respuestas, distinguiendo entre descripciones fenomenológicas, razonamientos reduccionistas y explicaciones plurivariadas coherentes con el modelo científico.

La asignación de categorías se realizó considerando evidencia textual concreta presente en las producciones estudiantiles y aplicando el método de comparación constante para asegurar la estabilidad conceptual. Los criterios operacionales utilizados se sintetizan en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios operacionales para la asignación de categorías

Categoría	Criterio operacional
I	No reconoce el fenómeno o se apoya en intuiciones, datos aislados o descripciones vagas (p. ej., “el imán genera corriente”).
II	Explicación fenomenológica o empírica donde, por ejemplo, se reconoce el movimiento relativo como causa de la IE.
III	Razonamiento lineal y reduccionista en el que se identifica el campo o el flujo como condición suficiente para generar IE, sin atender a la necesidad de su variación temporal.
IV	Razonamiento plurivariado que integra explicaciones cualitativas con el uso adecuado del modelo matemático; reconoce la variación del flujo como causa de la IE y su proporcionalidad con la fem.

El procedimiento analítico se desarrolló en dos niveles complementarios.

En primer lugar, se analizaron las producciones que elaboraron los estudiantes en cada instancia de análisis,

codificándolas según las categorías definidas focalizando en la articulación entre modelos cualitativos y relaciones cuantitativas.

A continuación, se integraron los resultados mediante tablas y gráficos que sintetizaron la distribución de categorías a lo largo de la secuencia, identificando tensiones, avances parciales y reorganizaciones conceptuales, lo que permitió construir una lectura interpretativa de la evolución del conocimiento de los estudiantes.

El propósito del análisis no fue cuantificar, sino comprender cómo se transformaron las explicaciones y los modos de razonar de los estudiantes, atendiendo a la progresividad prevista por el modelo IDAS. La codificación fue realizada de manera independiente por las investigadoras del equipo, acordando criterios interpretativos mediante discusiones sucesivas sobre los casos que presentaron ambigüedades. Este proceso permitió fortalecer la estabilidad del sistema categorial y asegurar coherencia interna en la asignación de categorías durante todo el análisis.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Instancia de iniciación

El análisis de las producciones correspondientes a la instancia de *Iniciación* evidencia una marcada tendencia hacia razonamientos monocausales y una escasa identificación del fenómeno como un proceso complejo. Las explicaciones se centran en variables aisladas, sin reconocer la interacción entre los procesos físicos involucrados ni la dinámica temporal que caracteriza al fenómeno. Cabe señalar que, al momento de esta instancia, los estudiantes solo habían abordado conceptos, leyes y modelos asociados con la electrostática, la electrodinámica y el magnetismo —incluyendo las nociones de campo y flujo magnético—, sin haberse trabajado aún de manera explícita el fenómeno de la inducción electromagnética.

La categoría I estuvo representada por ocho estudiantes, que no lograron reconocer el fenómeno ni los procesos implicados, proporcionando definiciones vagas o incorrectas. Ejemplos incluyen:

- E3: “Sé muy poco, solo sé el significado de inducción.”
- E8: “No sé mucho ni puedo imaginarme bien en qué o cómo pensado.”
- E6: “Todavía desconozco el tema.”

Algunos estudiantes intentaron relacionar el fenómeno de IE con conocimientos previos, pero de forma errónea o incompleta, como:

- E11, que vincula la IE con la carga electrostática.
- E7, que lo asocia con la corriente alterna.
- E5, E10, y E12, que lo relacionan con efectos de generación de campos magnéticos.

Estas respuestas demuestran un desconocimiento de los fenómenos de IE.

En la categoría II se agruparon dos estudiantes, quienes reconocen parcialmente la interacción entre los elementos

(imán, circuito y fem), pero no logran identificar las variables que determinan el fenómeno. Ejemplos incluyen:

- E1: “Sé que un campo magnético genera una corriente eléctrica.”
- E9: “Debería haber movimiento entre el conductor y el imán.”

Aunque estas explicaciones resultarían más cercanas a la ciencia, siguen siendo fenomenológicas y no reconocen la variación del flujo magnético, limitándose a explicaciones de causa-efecto simples.

En la categoría III se agruparon dos estudiantes que denotan reconocer que la variación del campo magnético es necesaria para generar corriente por IE. Ejemplos incluyen:

- E4 y E2, quienes mencionan que “la inducción magnética ocurre cuando un campo magnético variable genera una corriente eléctrica.”

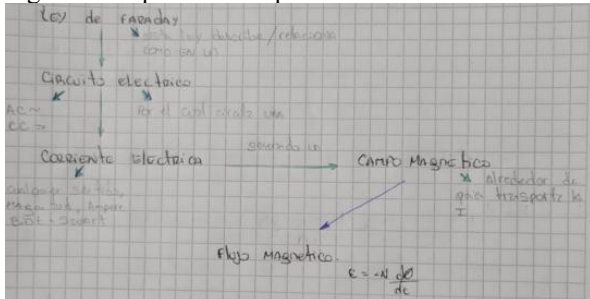
Aunque estas explicaciones son más coherentes con la teoría científica, siguen siendo reduccionistas, ya que no reconocen el flujo magnético como una variable involucrada.

En síntesis, en la instancia de iniciación la mayoría de los estudiantes se sitúa en las categorías I y II, lo que evidencia un conocimiento meramente fenomenológico que se organiza en torno a percepciones o experiencias previas, y que todavía no articula variables ni relaciones causales. Esta caracterización inicial constituye el punto de partida del proceso de reorganización conceptual esperado a lo largo de la secuencia.

## 5.2. Instancia de Desarrollo

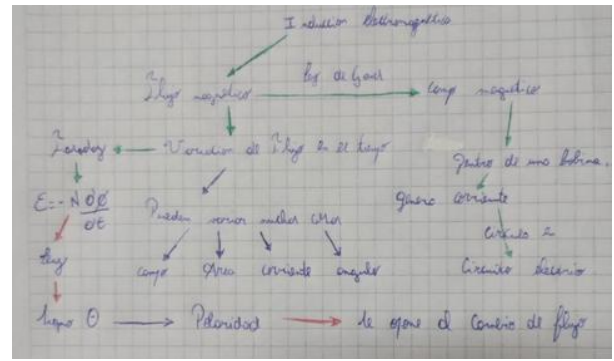
Al analizar los esquemas conceptuales elaborados por los estudiantes, se halla que tres estudiantes (E2, E6 y E5) no logran explicar el fenómeno de IE, y con ello los procesos que deben suceder para generar una fem. Si bien el estudiante incorpora expresiones matemáticas vinculadas con la ley de Faraday, como se ejemplifica en la figura 1, no logra establecer relaciones conceptuales explícitas entre las variables involucradas ni construir una explicación causal coherente del fenómeno, razón por la cual las respuestas de estos estudiantes se asociaron a la categoría I.

Figura 1. Esquema conceptual de E2



En la Categoría III, se agrupan dos estudiantes quienes establecen relaciones causales entre el campo magnético o flujo magnético y la fem inducida sin reconocer la dependencia temporal de las magnitudes involucradas, como se ejemplifica en la figura 2.

Figura 2. Esquema conceptual de E9



En el esquema del resto de los estudiantes se reconoce que la variación del flujo magnético es la causa de la generación de una fem por IE. De estos estudiantes dos (E3 e E11) sólo proponen una explicación cualitativa (figura 3) y seis (E1, E7, E10, E12, E8 y E4) logran también una de índole más cualitativa incorporando el modelo matemático que representa a la ley de Faraday (figura 4)

Figura 3. Esquema conceptual de E3

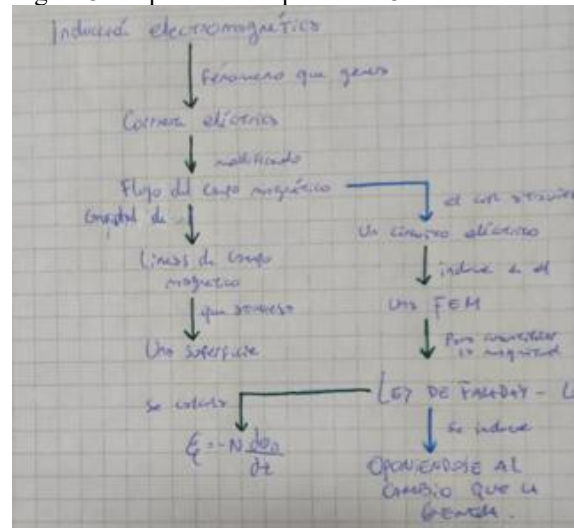
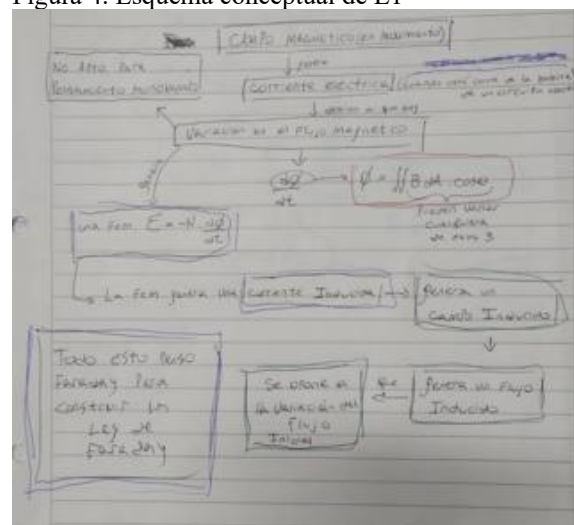


Figura 4. Esquema conceptual de E1



En síntesis, en esta instancia se consolida la transición hacia explicaciones más cercanas al modelo científico, ya que la mayoría de los estudiantes logra reconocer la variación del flujo magnético como la causa de la inducción

electromagnética. Este avance se expresa en la identificación explícita de las variables relevantes y en el uso adecuado del lenguaje conceptual asociado al fenómeno. No obstante, persisten tensiones en la articulación entre la interpretación cualitativa del proceso físico y su formalización matemática, evidenciándose dificultades para vincular el significado físico de las expresiones matemáticas con la situación analizada.

### 5.3. Instancia de Aplicación

Al analizar las resoluciones del problema abierto se observa que todos los grupos lograron aplicar conceptos/leyes adecuadas para poder dimensionar el cargador por inducción. Las diferencias radicarón en la pertinencia de las explicaciones cualitativas, respecto de cómo funciona el dispositivo.

El grupo E8, E5, E10 y E11, presenta mayores confusiones conceptuales, al indicar que “por las bobinas circula un flujo”, lo que evidencia dificultades para establecer la secuencia causal que conecta la corriente alterna (que proponen utilizar como generadora de campo magnético) con el campo variable, el flujo variable y la fem inducida.

En las resoluciones de los grupos de E3, E9, E4 y E2, y E7, E1, E6 y E12, se observa que cuando al explicar el funcionamiento del dispositivo hacen referencia al cambio de campo y no como el cambio de flujo magnético asociado a ese campo. Al dimensionar el prototipo aplican de manera adecuada las leyes de Ampere y Faraday para describir la relación entre corriente, campo magnético y variación temporal de flujo – fem.

Surge así una categoría “híbrida” (IV\*) en la que se observa que los estudiantes logran aplicar las leyes para realizar cálculos y dimensionar el cargador, pero tienen dificultades cuando expresan sus ideas para explicar cualitativamente el fenómeno.

Esta categoría se interpreta como un estado transicional en el que los estudiantes logran operar matemáticamente con el modelo, pero sin integrar completamente la explicación causal. Este resultado dialoga con investigaciones previas que señalan dificultades persistentes en la articulación entre representaciones matemáticas y conceptuales en el aprendizaje de la inducción electromagnética (Guisasola et al., 2013; Jelacic et al., 2017; Zuza et al., 2012), sugiriendo que el dominio procedimental puede desarrollarse antes que la comprensión profunda del fenómeno.

Este resultado es consistente con la naturaleza del fenómeno: aunque la resolución matemática permite operar con magnitudes físicas, la comprensión cualitativa requiere una abstracción adicional vinculada con la naturaleza representacional del campo y el flujo, todavía en proceso de consolidación.

### 5.4. Instancia de Síntesis

El análisis de las producciones correspondientes a la instancia de Síntesis permite observar que la mayoría de los estudiantes

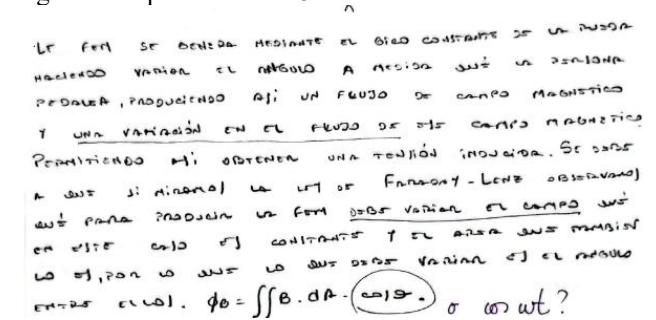
(diez) logran explicar cualitativamente el fenómeno y utilizar la ley de Faraday para realizar cálculos que permitieran resolver la situación planteada, como se ejemplifica en la figura 5. Estos estudiantes se agruparían en la Categoría IV, coherente y consistente con el conocimiento científico y modo de razonar que se esperaba construyesen con la enseñanza.

Figura 5. Respuesta de E8



Un estudiante (E4) se ubica en la Categoría III, por vincular la generación de la fem con la presencia de un flujo magnético sin reconocer la necesidad de que éste debe variar en el tiempo para que se genere una corriente inducida. Y otro estudiantes (E5), logra explicar sólo cualitativamente el fenómeno, pero no aplicar los modelos matemáticos para realizar los cálculos correspondientes, tal como se muestra en la figura.

Figura 4. Explicación de E5



En síntesis, en esta instancia la mayoría de los estudiantes alcanzó explicaciones integradas y pluricausales del fenómeno de IE, articulando la variación del flujo con la generación de una fem y aplicando correctamente la ley de Faraday.

### 5.5. Análisis longitudinal

El análisis longitudinal, representado en el gráfico 1, sugiere que los estudiantes no recorren un camino lineal hacia la comprensión del fenómeno, sino una trayectoria dinámica marcada por avances parciales, tensiones y

reacomodamientos conceptuales. Desde la fase de Iniciación hasta la fase de Síntesis, se observan modos de conocer en transformación, que dan cuenta del pasaje desde un pensamiento intuitivo y fenomenológico hacia explicaciones causales y representacionales más cercanas al campo científico.

En la Etapa de Iniciación, las producciones reflejan un enfoque fuertemente vinculado a la experiencia cotidiana: las explicaciones se apoyan en intuiciones, asociaciones simples entre imanes y corriente, o en ideas fragmentarias tomadas de la formación previa. Predominan explicaciones monocausales, centradas en un único elemento —el imán, el movimiento o la presencia de un conductor— sin articular relaciones entre magnitudes ni procesos subyacentes. Este punto de partida ilustra un conocimiento aún no estructurado, donde la IE aparece como un fenómeno impreciso, difícil de describir y sin anclaje causal claro.

Durante la Etapa de Desarrollo se produce un giro significativo. La elaboración de esquemas conceptuales invita a reorganizar las ideas y a establecer conexiones entre conceptos antes dispersos. Empiezan a aparecer relaciones que incorporan nociones como flujo magnético, variación temporal y fem, aunque no siempre de manera completamente integrada. Algunos estudiantes avanzan hacia explicaciones más cercanas al modelo científico, mientras que otros sostienen razonamientos lineales o incompletos. Es una fase de transición caracterizada por avances desiguales y tensiones conceptuales, donde conviven nuevas formas de pensar con restos de las intuiciones iniciales.

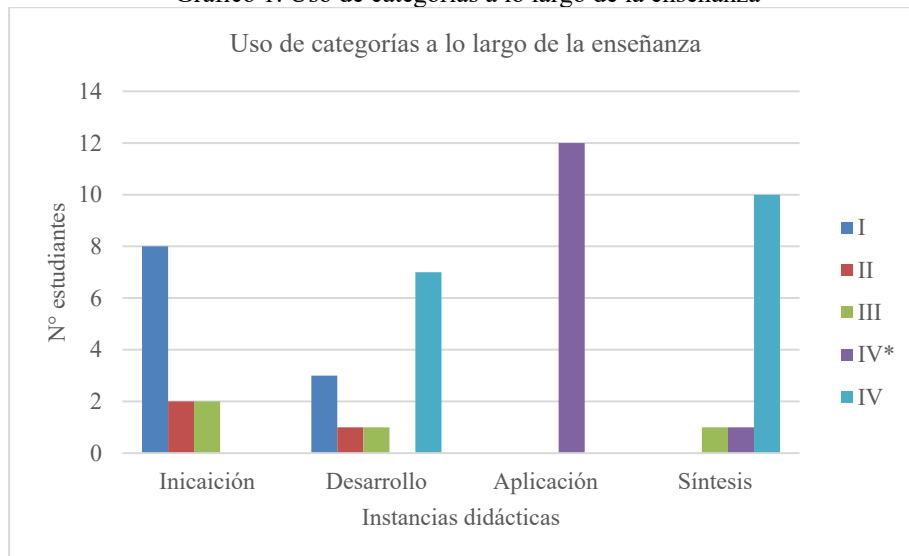
La Etapa de Aplicación expone con particular claridad esas tensiones. Al enfrentarse al diseño del cargador por

inducción, los estudiantes logran operar con la ley de Faraday, identificar variables relevantes y aplicar modelos matemáticos para estimar voltajes y tomar decisiones de diseño. Sin embargo, esta solvencia procedimental no siempre se acompaña de una comprensión cualitativa profunda del fenómeno. Surgen explicaciones híbridas que, si bien utilizan correctamente las expresiones matemáticas, exhiben dificultades para articular de manera clara la secuencia causal que conecta corriente alterna, campo variable, variación de flujo y fem inducida. Esta disincronía entre cálculo y significado es un rasgo típico de procesos en los que la reorganización conceptual aún está en marcha.

Finalmente, en la Etapa de Síntesis, se observa una consolidación evidente. Las explicaciones se vuelven más sistemáticas y causales: los estudiantes describen con mayor claridad cómo la variación del flujo magnético genera una fem, integran representaciones cualitativas y matemáticas, y justifican sus cálculos con coherencia interna. En esta instancia, las ideas iniciales —intuiciones vagas o asociaciones aisladas— son reconfiguradas en modelos explicativos más completos, que dan cuenta de la comprensión del fenómeno y de la capacidad para transferirlo a nuevas situaciones, como el análisis del dínamo de bicicleta.

En conjunto, el recorrido muestra que el aprendizaje se desarrolla como un proceso de reconstrucción conceptual: comienza con nociones intuitivas, avanza hacia esquemas representacionales, atraviesa un momento crítico en el que el dominio matemático no garantiza aún la comprensión cualitativa, y finalmente encuentra estabilidad en explicaciones causales integradas. Este patrón confirma la importancia de analizar el proceso completo —y no solo los resultados finales— para comprender cómo los estudiantes transforman sus modos de conocer.

Gráfico 1. Uso de categorías a lo largo de la enseñanza



En relación con la propuesta didáctica, los resultados refuerzan la potencialidad del modelo IDAS para promover un proceso de reconstrucción conceptual que permite a los estudiantes avanzar desde explicaciones intuitivas y monocausales hacia interpretaciones pluricausales y sistémicas, integrando progresivamente representaciones cualitativas y modelos matemáticos. Esta trayectoria evidencia que el modelo no solo facilita la comprensión del

fenómeno de IE, sino que también favorece un modo de pensar propio del conocimiento científico.

## 6. DISCUSIÓN

Los resultados permiten profundizar en los procesos de reorganización conceptual que atraviesan los estudiantes al

aprender IE dentro de una secuencia de enseñanza diseñada según el modelo IDAS. A diferencia de estudios previos sobre este modelo —centrados fundamentalmente en comparaciones iniciales y finales—, el análisis longitudinal realizado permite caracterizar la transformación conceptual como no necesariamente progresiva ni lineal, sino mediante avances parciales, estabilizaciones momentáneas y tensiones cognitivas que emergen en diferentes fases de la secuencia.

Desde el marco cognitivo adoptado (Pozo, 2007; Vosniadou, 2019), la evolución observada refleja el tránsito desde modos de conocer intuitivos, fenomenológicos y monocausales hacia explicaciones representacionales que articulan variables no observables como campo, flujo y variación temporal. Este pasaje se sostiene en dos mecanismos centrales que emergen de las producciones:

- Coordinación progresiva de representaciones (descripciones cualitativas, esquemas, ecuaciones), indispensable para atribuir sentido causal a la variación del flujo.
- Diferenciación conceptual de variables y procesos, especialmente la distinción entre campo y flujo y su carácter dinámico.

Sin embargo, el análisis también revela persistencias de intuiciones iniciales, como atribuir causalidad al imán o tratar el campo como entidad estática. Estas concepciones reaparecen particularmente en la fase de Aplicación, incluso en producciones donde el modelo matemático está correctamente formulado. La emergencia de la categoría híbrida (IV\*) puede explicarse justamente por esta tensión: los estudiantes logran operar procedimentalmente con la ley de Faraday, pero sin integrar plenamente la dimensión cualitativa del fenómeno. Este desfase indicaría que el dominio algorítmico no garantiza la comprensión causal, y que la integración entre modelos cualitativos y matemáticos requiere un trabajo cognitivo sostenido.

Dado el carácter cualitativo del estudio y el tamaño acotado de la muestra, los resultados buscan aportar tendencias interpretativas sobre los procesos de aprendizaje observados en el caso analizado.

En términos didácticos, la secuencia IDAS muestra fortalezas y límites. Las fases de Desarrollo y Síntesis favorecen la explicitación y reorganización de las relaciones causales, pero la fase de Aplicación evidencia que el tránsito hacia explicaciones sistémicas no siempre se consolida al mismo ritmo que la modelización matemática. Este hallazgo sugiere que la fase de Aplicación podría beneficiarse de intervenciones adicionales orientadas a integrar explícitamente la interpretación cualitativa con la operatoria cuantitativa.

En conjunto, los resultados amplían la evidencia existente sobre el modelo IDAS al ofrecer una mirada procesual del aprendizaje: muestran cuándo avanzan los estudiantes, qué tensiones se activan, qué explicaciones se reorganizan y qué aspectos persisten como obstáculos, aportando elementos valiosos para el diseño de futuras secuencias en fenómenos complejos de la física.

## 7. CONCLUSIONES

Este estudio tuvo como propósito caracterizar la evolución del conocimiento sobre la inducción electromagnética en estudiantes de ingeniería a lo largo de una secuencia de enseñanza diseñada bajo el modelo didáctico IDAS.

Los resultados sugieren que el aprendizaje no se desarrolla de manera lineal, sino como un proceso progresivo y dinámico de reorganización conceptual, en el que coexisten avances parciales, tensiones cognitivas y momentos de integración

En la fase inicial, los estudiantes se apoyaban en ideas intuitivas, descripciones fenomenológicas y razonamientos monocausales, en línea con lo propuesto por Pozo (2007, 2016) y Vosniadou (2019) respecto del predominio del pensamiento cotidiano ante fenómenos no observables o desconocidos. Con el avance de la secuencia, comenzaron a establecer relaciones conceptuales más complejas, incorporando nociones de flujo magnético, variación temporal y fem inducida, aunque con desigual nivel de integración. La etapa de Aplicación puso en evidencia una tensión ampliamente documentada en la enseñanza de la física (Härtel, 2018; Duit & Treagust, 2021): el dominio procedimental del modelo matemático no siempre implica una comprensión causal del fenómeno. Finalmente, en la Síntesis se observó una consolidación conceptual que integra explicaciones cualitativas y cuantitativas de manera coherente, superando las intuiciones iniciales y articulando múltiples representaciones del fenómeno.

La fase de Aplicación parece tensionar especialmente la relación entre formalización matemática y comprensión cualitativa. En esta instancia, la tarea de diseño exige operar con magnitudes, ecuaciones y relaciones cuantitativas, lo que puede favorecer un uso procedimentalmente correcto de la ley de Faraday. Sin embargo, esta operatoria no garantiza por sí misma la reconstrucción causal del fenómeno, ya que comprender la IE requiere además interpretar la secuencia física que vincula corriente alterna, campo magnético variable, variación del flujo y fem inducida. En este sentido, la categoría IV\* permite visibilizar una forma de avance parcial en la que los estudiantes logran resolver matemáticamente el problema, pero mantienen tensiones conceptuales al explicar cualitativamente el proceso.

Estos resultados ponen de manifiesto la potencialidad del modelo IDAS para favorecer aprendizajes por comprensión, promoviendo el pasaje desde explicaciones intuitivas hacia interpretaciones pluricausales y sistémicas. La estructura progresiva del modelo —que articula exploración, modelización, resolución de problemas y reflexión metacognitiva— constituye un entorno propicio para dicho aprendizaje, especialmente en contenidos de alta complejidad como la inducción electromagnética.

Si bien se trata de un estudio de caso, las tendencias identificadas poseen valor heurístico y pueden orientar el diseño de propuestas didácticas en otros contextos. La progresión observada —de razonamientos monocausales a explicaciones representacionales y matemáticamente fundamentadas— coincide con hallazgos obtenidos en

investigaciones anteriores (Bravo, Pesa y Pozo, 2009; Bravo, Pesa y Pozo, 2008) sobre otras temáticas de interés como la Óptica y puede servir como referencia para equipos docentes e investigadores que buscan comprender cómo evolucionan las ideas de los estudiantes durante secuencias de enseñanza prolongadas. La caracterización de tensiones intermedias, como la disociación entre cálculo y comprensión causal, aporta elementos útiles para ajustar intervenciones didácticas y diseñar actividades que integren explícitamente ambas dimensiones.

Del mismo modo, aunque el estudio se desarrolla en una Facultad de Ingeniería, los mecanismos de aprendizaje identificados no se restringen a este campo disciplinar. La necesidad de superar explicaciones intuitivas, articular múltiples representaciones, reconocer variables no observables y regular metacognitivamente el propio pensamiento constituye un desafío compartido por diversas áreas de la educación científica. En este sentido, los resultados ofrecen pistas transferibles para la enseñanza de otros fenómenos de la física y para propuestas curriculares de orientación STEM que busquen promover modos de pensar propios de las ciencias.

En conjunto, este trabajo contribuye a comprender cómo los estudiantes construyen y transforman sus modos de conocer en torno a un contenido particularmente desafiante. Asimismo, refuerza la importancia de analizar no solo los estados iniciales y finales del aprendizaje, sino también su evolución interna, con el fin de diseñar secuencias más sensibles a los ritmos, tensiones y avances que caracterizan el aprendizaje de la física en la educación superior.

## 8. REFERENCIAS

- Amin, T., Levin, D., & Levrini, O. (2023). Developing students' epistemic insight in physics education. \*International Journal of Science Education, 45\*(4), 512–531. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2130912>
- Bravo, B., Bouciguez, M. J., & Braunmüller, M. (2019). Una propuesta didáctica diseñada para favorecer el aprendizaje de la inducción electromagnética básica y el desarrollo de competencias digitales. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 16*(1), 1203. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2019.v16.i1.1203](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1203)
- Bravo, B., Inorreta, Y., Jara, Y., & Perez, G. (2025). Propuesta Didáctica Inducción Electromagnética. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17634602>
- Bravo, Pesa & Pozo (2008) Cuando el aprendizaje de las ciencias implica un cambio de modo de conocer. El caso del color. *Revista Enseñanza de la Física, 21*(1) (11-27)
- Bravo, Pesa & Pozo (2009) The learning of sciences: a gradual change in the way of learning. The case of vision. *Investigações em Ensino de Ciências, 14*(2) (299-317)
- Bravo, B., Pesa, M., & Braunmüller, M. (2021). IDAS: Una metodología de enseñanza centrada en el estudiante para favorecer el aprendizaje de la física. *Revista Brasileira de Ensino de Física, 44*, e20210037.
- 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 Enseñanza de la Física, 31*, 97–105.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2021). Conceptual change: Still a powerful framework for improving the teaching and learning of science. \*International Journal of Science Education, 43\*(11), 1771–1782. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1925220>
- Guisasola, J., Ametller, J., & Zuza, K. (2021). Investigación basada en el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje: Una línea de investigación emergente en enseñanza de las ciencias. \*Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 18\*(1), 1801. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2021.v18.i1.1801](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801)
- Härtel, H. (2018). Students' misconceptions in electromagnetic induction: A review. \*Physics Education, 53\*(2), 025010. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aaa0c3>
- Hogarth, R. M. (2002). \*Educating intuition\*. University of Chicago Press.
- 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.
- Inorreta, Y., Bravo, B., & Bravo, S. (2024). Análisis de estrategias didácticas para favorecer el aprendizaje del fenómeno de inducción electromagnética en Educación Secundaria. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias, 19*(1), 45–58.
- Inorreta, Y., Bravo, S. de Valle, & Pesa, M. (2025). Evolución de los modos de conocer en la enseñanza de la inducción electromagnética: Una propuesta basada en la metodología IDAS. *Revista Internacional de Pesquisa em Didática das Ciências e Matemática, 6*, e025005.
- Izza Iksani, R., & Suprpto, N. (2022). Students' reasoning difficulties on Faraday's law: A qualitative study. \*Journal of Physics: Conference Series, 2165\*(3), 012043. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2165/1/012043>
- Kaluba, G., & Mbewe, E. (2023). Understanding electromagnetic induction: A case study of first-year engineering students. \*African Journal of Physics Education, 8\*(2), 65–78.
- Pacaci, C., Üstün, U., & Özdemir, Ö. F. (2024). Effectiveness of conceptual change strategies in science education: A meta-analysis. \*Journal of Research in Science Teaching, 61\*(3), 345–372. <https://doi.org/10.1002/tea.21887>

Pelobillo, G. (2023). Conceptions of learning physics among University of Mindanao students: A validation study. *International Journal of Instruction*, 16\*(4), 921–938. <https://doi.org/10.29333/iji.2023.16451a>

Pesa, M., & Cudmani, L. (1998). Estrategias de enseñanza para la comprensión del electromagnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 431–440  
Pozo, J. I. (2001). *\*La adquisición del conocimiento científico\**. Morata.

Pozo, J. I. (2007). *\*Aprendices y maestros: La nueva cultura del aprendizaje\**. Alianza.

Pozo, J. I. (2016). *\*Aprender a pensar, pensar para aprender\**. Alianza.

Pozo, J. I., & Gómez Crespo, M. A. (1998). *\*Aprender y enseñar ciencia\**. Morata.

Salinas, D., & Sandoval, R. (1996). Razonamiento causal y aprendizaje de la física en estudiantes universitarios. *\*Ciencias*, 49\*, 21–32.

Vosniadou, S. (2019). The development of students' scientific and mathematical knowledge: Conceptual change and its implications for instruction. *\*Educational Psychologist*, 54\*(3), 251–265. <https://doi.org/10.1080/00461520.2019.1610484>

Wati, E., Samsudin, A., Saepuzaman, D., & Sozbilir, M. (2025). Trend of applying the conceptual change model in physics learning: Systematic literature review. *\*Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 14\*(1), 131–143. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v14i1.XXXXX>

Xie, J., Zhu, L., & Ma, Q. (2024). Students' difficulties in understanding electromagnetic phenomena: A systematic review. *\*Studies in Science Education*, 60\*(2), 821–840. <https://doi.org/10.1080/03057267.2024.XXXXX>

Zohar, A., & Barzilai, S. (2022). Metacognition in science education: Trends and future directions. *\*Journal of Research in Science Teaching*, 59\*(7), 1185–1212. <https://doi.org/10.1002/tea.21782>

## **Dra. Bettina Bravo**

Doctora en Educación Científica (Universidad Autónoma de Madrid). Profesora Asociada con dedicación exclusiva en el Área de Física de la Facultad de Ingeniería (UNCPBA) e Investigadora Adjunta del CONICET.

Su trayectoria se centra en la investigación en didáctica de las ciencias, con especial énfasis en los procesos de aprendizaje en Física, el cambio conceptual, la resolución de problemas en carreras de ingeniería y la integración de tecnologías emergentes (TIC, realidad virtual, laboratorios remotos e inteligencia artificial generativa) en contextos educativos.

Es directora del Centro de Investigación, Innovación, Desarrollo y Transferencia en Articulación, Educación Científica y Ciencias para la Ingeniería (ArECyCI) y del proyecto de extensión **IpACT – Innovación para la Alfabetización Científico-Tecnológica**, iniciativa reconocida a nivel nacional e internacional. Ha dirigido y codirigido numerosos proyectos de investigación, desarrollo tecnológico y extensión, así como tesis de posgrado.

Cuenta con una amplia producción científica en revistas especializadas y libros, y participa activamente en la formación docente, la gestión universitaria y proyectos de articulación entre la universidad, la escuela secundaria y la comunidad.