

Niveles de conceptualización en el campo conceptual de la Inducción electromagnética. Un estudio de caso



Lidia Catalán¹, Concesa Caballero Sahelices², Marco Antonio Moreira³

¹Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo, B de Irigoyen 347, 5600, San Rafael, Argentina.

²Departamento de Física, Universidad de Burgos, Calle Villadiego s/n, 09001, Burgos, España.

³Instituto de Física, Universidade do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 1505, 91501- 970, Porto Alegre, Brasil.

E-mail: ferraros@hotmail.com

(Recibido el 6 de Noviembre de 2009; aceptado el 17 de Enero de 2010)

Resumen

Los estudiantes de Física básica en carreras de ingeniería y afines no logran en general la conceptualización esperada aún después de haber realizado los correspondientes cursos propios de las carreras, cuando se presupone que los alumnos deberían ser competentes para resolver un conjunto de tareas – ejercicios y problemas – propios de la temática. Para Vergnaud (1990) este hecho, está relacionado con dificultades de conceptualización en el campo conceptual del electromagnetismo. De allí que resulte pertinente indagar sobre la conceptualización alcanzada por los estudiantes. En el marco de esta teoría se analiza, el nivel de conceptualización alcanzado por tres estudiantes al resolver un conjunto de situaciones sobre electromagnetismo. Las conclusiones fundamentadas en el análisis de las respuestas de los jóvenes, permiten identificar diferencias en el nivel de conceptualización alcanzado por cada estudiante.

Palabras clave: Conceptos, situaciones, invariantes operatorios, representaciones, campos conceptuales.

Abstract

Engineering students do not generally achieve the expected knowledge after taking basic physics courses, even though they are supposed to be competent enough to solve specific problems and other exercises related to the subject. According to Vergnaud (1990), this fact is due to the students' conceptualization problems in the electromagnetism conceptual field. Therefore, we consider it appropriate to look into the level of conceptualization they have reached. Based on this theory, the responses given by three students when solving several problems on electromagnetism are analyzed. The results allow us to identify different conceptualization levels achieved by each student.

Keywords: Concepts, situations, operational invariants, representations, conceptual fields.

PACS: 01.30.Vv,01.40.FK,41.20.Gz

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Se ha observado que los jóvenes no logran los niveles de conceptualización esperados al finalizar el cursado de los temas vinculados al magnetismo y electromagnetismo en una de las asignaturas de Física del ciclo básico de carreras de nivel superior. Algunos profesores a cargo de esta asignatura en diversas carreras de ingeniería, se refieren sobre las debilidades y obstáculos encontradas y reconocen dificultades en torno al concepto de inducción electromagnética como deficiencias matemáticas, flujo, variación de una magnitud en el tiempo como el flujo de un campo vectorial sin que la intensidad del campo vectorial cambie; dificultades para “visualizar” los fenómenos. Algunas opiniones indican que:

“Las mayores dificultades se encuentran en ciertas deficiencias matemáticas y en el insuficiente manejo

del espacio (producto del tipo de matemática abstracta que se enseña actualmente en nuestra facultad). Les cuesta reconocer las superficies de flujo y no diferencian claramente una superficie abierta de una cerrada. Les cuesta también entender el concepto de “flujo barrido”, o sea, cuando no hay una espira material” (Ingeniero Químico).

La dificultad en la conceptualización de la variación de una magnitud en el tiempo (que ya es difícil), y la de dicha magnitud: el flujo magnético. Comprender, por ejemplo, que el flujo varía en el tiempo aun cuando la intensidad del campo sea constante, cuando éste no es uniforme (Dr. en Física).

“No se imaginan los fenómenos. No hay representación mental de los fenómenos. No pueden visualizar mentalmente cómo es el fenómeno”. (Ing. Electromec.)

Asociado a lo dicho, en la bibliografía revisada, se encuentran diversos tipos de dificultades que los alumnos presentan para comprender conceptos relacionados con interacciones, campo y flujo o su variación y sus representaciones. Así por ejemplo aquellas derivadas de confusiones epistemológicas, o del status ontológico de los conceptos como la asignación de entidades físicas a entidades simbólicas [1, 2, 3, 4]. También son destacables las ocasionadas por la presencia de obstáculos que tienen que ver con competencias generales para el aprendizaje el manejo de múltiples variables en la Ley de inducción de Faraday, por ejemplo [5] o las inherentes a la resolución de problemas [6] que en muchas ocasiones surgen del estilo de razonamiento de los alumnos como aquellos procedimientos del sentido común y podría decirse, cierto reduccionismo en cuanto tiende a evidenciar una simplificación de las situaciones, por ejemplo desconociendo algunos de los elementos del objeto de estudio o recortando partes de los procesos de transformación, [7, 8, 9]. En forma análoga es necesario considerar aquellas debilidades en recursos expresivos como el tipo de representaciones simbólicas que se requieren para la adquisición de estos saberes o las operaciones matemáticas entre las magnitudes intervinientes [10].

Con referencia al electromagnetismo, Guisasola *et al.* [13] destacan déficits en la comprensión y el uso de la Ley de Gauss y la Ley de Ampère ocasionados por modos de razonamiento como la fijación funcional, generada por el uso acrítico de las definiciones operativas. En algunos casos estos autores observan un reduccionismo funcional cuando los alumnos confunden magnitudes vectoriales como el campo magnético, con operadores vectoriales como la "circulación del campo vectorial".

Las concepciones alternativas referidas a variados aspectos del electromagnético detectadas por [12] como tendencias en las respuestas a un grupo de cuestiones abiertas presentadas a los alumnos, son diversas. Así por ejemplo, los jóvenes tienden a considerar un imán como una "especie de dipolo". En cada polo existirían en forma concentrada o en exceso, cargas positivas y negativas. El polo norte se conformaría con cargas positivas. Esta afirmación se reitera al explicar las consecuencias de acercar un imán a un péndulo. También detectan confusiones entre campo magnético y eléctrico. Interesa particularmente la asociación al fenómeno de inducción eléctrica de algunos fenómenos magnéticos lo que revela desconocimiento de estos últimos. Por ejemplo, cuando intentan explicar la atracción del hierro por el imán, interpretan que ésta ocurre debido a una distribución de cargas.

Asimismo, los efectos de la interacción entre un imán y un cuerpo cargado o el de una corriente eléctrica sobre una brújula, son fenómenos explicados por los alumnos en forma independiente del estado de reposo o movimiento de las cargas, por ejemplo.

Respecto de las interacciones visibles de los imanes sobre toda sustancia metálica encuentran explicaciones que consisten en una asociación del metal con los polos del

imán, sin otra argumentación, lo que demuestra para los autores el desconocimiento de los tipos de materiales. También observan explicaciones sobre el imán asociándolo con una propiedad "mágica" de atraer cuerpos. Asimismo, algunos de los jóvenes piensan que existe una transferencia de carga del hierro al imán para que los dos cuerpos estén cargados. Por otro lado, si bien reconocen el efecto de atracción de una corriente sobre un imán desconocen la reciprocidad de la interacción.

De la misma forma, pocos estudiantes, reconocen como fuentes del campo magnético, la intensidad de corriente, menos aún a las cargas en movimiento y tienden a ignorar los efectos del campo magnético sobre una carga eléctrica en movimiento.

En ese trabajo, los autores encuentran que los estudiantes conocen vagamente experiencias sobre fenómenos electromagnéticos como el de Oersted, y experiencias sobre inducción electromagnética como la de mover un imán cerca de un circuito o un electroimán y si bien los alumnos reconocen la Tierra como un imán, desconocen la ubicación de los polos magnéticos, admitiendo que "en el norte geográfico hay un gran imán capaz de atraer la aguja metálica de la brújula" y "debajo de la brújula existe un imán orientado por el imán de la Tierra" (*op. cit.* p. 40). Por otro lado, consideran que un electroimán está constituido por un imán cargado al que se le ha arrollado un hilo conductor. No reconocen que el núcleo de hierro cambia su estado de imantación.

En forma semejante [15] indaga concepciones alternativas sobre electromagnetismo. Advierte que algunas de las concepciones son similares a las detectadas por [14] como la explicación de la orientación de la brújula en el campo magnético terrestre, indistinción entre fenómenos eléctricos y magnéticos o aquellas vinculadas con la constitución y funcionamiento de un electroimán.

Guisasola *et al.* [16] avanzan en sus estudios sobre el electromagnetismo y diagnostican otro grupo de concepciones alternativas sobre el campo magnético estacionario, en relación con la identificación de las fuentes de ese campo, o con el desconocimiento teórico del imán o de una espira de corriente como fuentes de inducción magnética, o la interacción del campo con cargas y corrientes y la diferencia entre campos electrostáticos y magnéticos.

Dentro de los trabajos de investigación sobre representaciones mentales, se encuentran por ejemplo, aquellos en los se ha intentado identificar los modelos mentales - según la teoría de [17] - que los alumnos construyen sobre el concepto de campo electromagnético al resolver problemas [18]. Evidencian mayor riqueza conceptual aquellos estudiantes que han logrado construir un modelo mental sobre este concepto. Han revisado además, la teoría de representaciones mentales que guía la identificación de las representaciones del campo electromagnético [19].

Acerca del electromagnetismo y otros conceptos claves vinculados como carga, o intensidad de corriente, se evidencia que los mismos revelan la influencia de la instrucción recibida [20]. Asimismo reconoce una

progresividad en los modelos mentales construidos sobre el electromagnetismo por diversas personas de diferente nivel instructivo, cinco de los cuales corresponden a magnetismo y tres a electromagnetismo. Mediante el análisis de entrevistas, este autor encuentra entre los modelos iniciales; el magnetismo como: atracción; como nube (o área de influencia); como electricidad; como polarización eléctrica y el modelo científico. El primero consiste en el conocimiento fenomenológico de que el imán atrae objetos debido a una propiedad intrínseca. En el segundo priva la idea sobre la proximidad de los objetos atraídos al imán según el alcance del campo magnético, el magnetismo es causado por el orden de la organización interna de los átomos y moléculas. En el modelo de magnetismo como electricidad, la atracción magnética se basa en la interacción entre cargas eléctricas, y se asocian polos magnéticos con cargas eléctricas. En el cuarto modelo los fenómenos se explican suponiendo que una separación de cargas eléctricas origina los polos; el campo magnético actúa sobre los átomos y moléculas orientándolos según la dirección del campo; conciben un tipo de polarización según un modelo semejante al caso de los dieléctricos. Por otro lado, en el modelo científico, la interacción directa entre polos es sustituida por la acción del campo; el magnetismo existe para estos sujetos, en un nivel microscópico como resultado del movimiento de cargas eléctricas o debido a la existencia de imanes elementales. Este autor encuentra que al explicar el funcionamiento de un electroimán, algunas personas utilizan un modelo que consiste en la fusión de la electricidad y magnetismo sin distinción. En otro modelo emergente, se considera que la electricidad se concentra en el núcleo, por lo que éste debe ser un buen conductor y estar en contacto con el bobinado. Finalmente también se encuentra otro modelo que corresponde al electrodinámico o científico. Éste es caracterizado por la idea de que una corriente eléctrica crea un campo magnético y el electroimán es visto como un imán temporal controlable por la circulación de corriente.

Específicamente, sobre Inducción Electromagnética, se seleccionan indicadores de aprendizaje sobre bases epistemológica basados en la identificación de prerrequisitos para la comprensión de la inducción electromagnética como campos y fuerzas eléctricas y magnéticas, y validan un cuestionario en un pequeño grupo donde encuentran en los razonamientos de los alumnos por ejemplo, la ausencia del uso de la ley de Lorentz para explicar el movimiento de un circuito en un campo magnético [21]. También se abordan de lleno las problemáticas vinculadas con la comprensión de la inducción electromagnética y se destacan, entre otras, confusiones sobre flujo y campo magnético [22].

En particular, Meneses y Caballero [14], Guisasaola *et al.* [21] han encontrado que los alumnos presentan dificultades a la hora de reconocer los imanes como fuentes de campo magnético a través de una serie de características propias de la interacción magnética; cómo actúa sobre un conjunto de materiales concretos, de naturaleza dipolar que a hace girar una brújula o que actúa a distancia. En forma análoga, en relación con otros conceptos como el conocer

que las líneas de campo magnético son cerradas, saber aplicar el teorema de Gauss, que llevan a reconocer la inexistencia de monopolos; reconocer que las cargas en movimiento respecto de un observador inercial, producen campo magnético; explicar cualitativamente en particular el campo magnético de una carga en movimiento, de una corriente en un circuito eléctrico, hilo, espira, solenoide.

Almudi *et al.* [22] revelan también que muchos estudiantes presentan confusiones entre campo y flujo a la hora de analizar la causalidad de los fenómenos de inducción electromagnética.

Como expresa Borges [20], al tratar de explicar distintos fenómenos magnéticos y electromagnéticos un aprendiz pone en acción diferentes modelos mentales que contienen entre otras, información disponible en los esquemas de asimilación, pudiendo ser estas mismas "concepciones alternativas" como las detectadas por [14, 15, 21]

De lo expuesto, se percibe que la insuficiencia en la construcción de conocimiento en torno al campo conceptual de la inducción electromagnética obstaculiza que los alumnos puedan resolver ejercicios y problemas en forma competente que son propios de la temática; situación particularmente compleja por ejemplo, para estudiantes de ingeniería electromecánica. Para [23] como se ha señalado, estas problemáticas se vinculan con debilidades en la conceptualización del campo conceptual.

De ahí el interés en tratar de conocer los niveles de conceptualización que alcanzan los estudiantes con la finalidad de comprender mejor el proceso de construcción conceptual e iniciar un camino de búsqueda hacia estrategias de mediación pedagógica que tiendan a disminuir la distancia entre la conceptualización lograda y la esperada.

La pregunta clave en este caso sería cuáles son los niveles de conceptualización alcanzados por los alumnos a lo largo de un proceso instructivo.

En el marco de lo expuesto, en este trabajo se procura identificar niveles de conceptualización de tres estudiantes del ciclo básico de ingeniería durante el periodo instructivo, de conceptos vinculados al magnetismo y electromagnetismo básico.

Luego de la presentación de las ideas teóricas más importantes que enmarcan este trabajo, se continúa con una breve descripción de la metodología y se muestra el análisis de la resolución de diversas situaciones correspondientes al proceso desarrollado por tres estudiantes de ingeniería, en un curso de Física básica desde el que se identifican tres niveles de conceptualización diferentes.

II. MARCO TEÓRICO

Para Vergnaud [23] el *conocimiento* está organizado en *campos conceptuales*, explicados como un conjunto informal y heterogéneo de problemas, situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, contenidos y operaciones del pensamiento, conectados unos a otros los que

probablemente, se entrelazan durante el proceso de adquisición.

La idea de campos conceptuales se vincula a la concepción que Vergnaud sostiene de un “concepto” en cuanto a que lo considera como conjunto formado por tres componentes: referente, significado y significante. El primero, responsable por el sentido que se le atribuye al concepto, corresponde al conjunto de situaciones que el aprendiz enfrenta y resuelve [24]. Los significantes, se relacionan con el conjunto de modos de expresión de los significados. En el núcleo de los significados se encuentran lo que [23] denomina Invariantes Operatorios; el conocimiento en acción que el sujeto pone en juego a la hora de enfrentar una situación. Gran parte de este conocimiento es implícito, y forma parte de las estructuras cognitivas que el sujeto va construyendo a partir de un proceso de adaptación frente al conjunto de experiencias con las que interactúa, a lo largo del tiempo [25].

Vergnaud resignifica también el concepto de esquema de Piaget y lo sitúa en el centro de ese proceso de adaptación [26, 27]. Un esquema, en este encuadre, resulta ser un modo de acción que es estable, frente a un conjunto de situaciones. El sujeto resuelve ese conjunto de situaciones que le es familiar de la misma manera, capta la situación como perteneciente a una clase y actúa en forma invariante [25]. Sin embargo si la situación le es ajena, o presenta un conjunto de aspectos para los que no ha formado un esquema, se desequilibra y procura combinar aquellos que ya tiene si las situaciones son próximas entre sí; enriquece alguno que le permite resolverlas o comienza la lenta formación de un nuevo esquema [23, 28]. Para Moreira [29] cada vez que un sujeto trata de resolver una situación construye un modelo mental en el sentido de Johnson y Laird [17]. Por lo tanto la formación de nuevos esquemas sería precedida por la construcción de modelos mentales los que serían probados hasta que el sujeto comienza a utilizar en forma recurrente uno específico que gradualmente es incorporado como “organización invariante de la actividad” frente a una clase de situaciones.

De modo que una buena conceptualización, implicaría desde esta teoría la elaboración de modelos mentales, con la consecuente formación de esquemas específicos. Por otro lado una débil conceptualización involucraría, como señala Vergnaud, un periodo reflexivo que apunta a la gradual reestructuración y/o formación de nuevos esquemas.

Para indagar niveles de conceptualización, por lo tanto, se hace necesario analizar como punto de partida, las representaciones simbólicas y los invariantes operatorios: conceptos y teoremas en acción que los resolventes emplean al resolver un conjunto de actividades.

Un concepto en acción es una categoría a la que el sujeto recurre *para recoger la información, y seleccionar lo que es pertinente*; es un concepto clave para resolver un problema que puede o no ser específico de la disciplina pero que permite interpretar la situación. *Los teoremas-en-acto son el medio de inferir*, de elaborar un razonamiento la mayor parte del tiempo de manera totalmente implícita, los objetivos y reglas oportunas que permiten la adaptación de la actividad a la situación que se intenta resolver, [30].

Vergnaud [30] expresa que *“los saberes formalizados, son sólo una parte de los conocimientos que se explicitan en la actividad, pero a su vez éstos no son más que un sub-conjunto de los conocimientos explicitables”*. Por ello a veces aparece la necesidad de enfrentar al sujeto a una forma de actividad particular para que las relaciones de los objetos entre ellos y con las operaciones del sujeto sean expresadas.

Es precisamente en la observación de la actividad frente a una situación, cuando un sujeto resuelve una tarea, dónde se pueden detectar los conceptos-en-acto y los teoremas-en-acto; ya que son eventualmente conscientes o inconscientes para el sujeto. De ahí la necesidad de seleccionar un conjunto de actividades que permitan evidenciar los significados construidos sobre el conjunto de conceptos antes señalados y las habilidades desarrolladas para manifestarlos. Para tal fin, se necesita en primer lugar seleccionar el conjunto de conocimientos cuyo dominio es necesario alcanzar en un curso de este nivel.

Al respecto, cuando se trata de realizar un recorte para seleccionar un conjunto de conocimientos, profesores expertos en el dictado de la asignatura e investigadores, coinciden en términos generales pero suelen presentar algunas diferencias, muchas veces derivadas de la trayectoria formativa o el contexto académico en el cual se desempeñen.

Las aportaciones del grupo de docentes consultados puede ser sintetizado en algunas ideas clave indicativas de tal selección, por ejemplo: para que el alumno logre una mejor comprensión de la inducción electromagnética, necesita además de los requerimientos matemáticos, conceptos vinculados a las interacciones, la naturaleza del campo magnético, del flujo magnético y de los cambios que en el tiempo pueda experimentar una magnitud. Por lo que el alumno necesita conocimientos previos que los profesores consultados señalaron según se transcribe:

“tener en claro el concepto de campo vectorial, y dos operaciones del mismo: flujo y circulación (integral curvilínea cerrada). Además del concepto y estructura del campo magnético (Ing. Químico).

“conocer conceptos fundamentales: flujo (tanto conceptual como operacional) y campo magnético B. También el concepto de variación temporal, expresado en términos de una derivada primera” (Dr. en Física).

“Lo más importante es el efecto de campo magnético sobre una carga en movimiento...las interacciones” (Ing. Electromecánico)”.

Respecto a la evaluación de los niveles de conceptualización, el considerar si el sujeto puede o no resolver un conjunto de situaciones, podría apuntar a un criterio de máximo y de mínimo. Ahora bien, la pregunta que sigue atraviesa esas zonas grises cuando el individuo es parcialmente competente ò es escasamente competente.

En tal sentido, la diferencia en los niveles de conceptualización de los alumnos a lo largo del proceso de instrucción, puede ser objetivada desde distintos aspectos destacando [20, 10]

o Cómo se integra el nuevo conocimiento con el que traían;

- Hasta qué punto se percibe una organización rica y elaborada del conocimiento puesto en juego, es decir si se pasa de la simple mención de elementos aislados y débilmente vinculados a una explicitación de las relaciones entre los elementos interactuantes y sus posibles transformaciones hasta “una comprensión relacionada con la construcción de estructuras” [20].
- La estabilidad y coherencia de las afirmaciones de conocimiento relacionada con la posible formación de esquemas. Vergnaud llama esquema a la “organización invariante del comportamiento para una determinada clase de situaciones” [23, 31, 32, 33,34]. El status ontológico del evento u objeto en estudio; es decir si el alumno puede expresar cómo es el objeto u evento que analiza – describirlo- pero también si logra *explicar* el comportamiento observado y la causa del mismo; “el porqué” desde los procesos y mecanismos internos de los objetos y /o eventos.
- La variedad y calidad de recursos para expresar e interpretar sus representaciones y su complementariedad; desde lo pictórico, gráfico, lo simbólico, lo lingüístico.
- Obstáculos, rupturas y continuidades en el proceso de aprendizaje en la medida que constituyen una fuente relevante de información como posibles insumos para el análisis de los datos.

En términos más operativos, frente a una dada clase de situaciones, el individuo:

1. Manifiesta una organización rica en cuanto a las relaciones inferencias y argumentaciones o realiza una simple mención de elementos aislados
2. Describe el objeto/evento de estudio y explica los comportamientos y sus causas desde los procesos internos (micro)
3. Las afirmaciones de conocimiento son estables frente a una clase de situaciones y con ellas los significados construidos
4. Utiliza en forma adecuada diferentes tipos de representaciones lingüísticas y simbólicas
5. Relaciona los diferentes modos de representar la información
6. Modifica las afirmaciones de conocimiento en forma pertinente (mayor aproximación al modelo aceptado por la comunidad científica)
7. Presenta posibles obstáculos ontológicos y epistemológicos

Al tratar de diseñar una escala que permita ponderar el logro de estas habilidades se tiene en cuenta la concepción que [21] sostiene sobre el “concepto” en cuanto a que por un lado se han de mirar distintos tipos de situaciones y en cada una considerar simultáneamente tanto los significados como los significantes. Así para el nivel más alto de conceptualización se supone que el individuo ha de manifestar al menos los seis primeros ítems antes enunciados en el abanico de situaciones seleccionadas para abarcar el recorte del conocimiento que se observa; o sea que se considera necesario que logre explicar las causas de un determinado evento desde los modelos científicos y también exprese esta explicación mediante expresiones formales, graficas, pictóricas y que las interprete en forma

coherente. Análogamente si modifica sus argumentos acercándose al modelo científico habrá evidencia de una situación que causó una “ruptura” que podríamos calificar como positiva si es un progreso en el grado de apropiación del campo conceptual en cuanto acercamiento al modelo científico; o dicho en términos piagetianos se produjo una posible “acomodación”, [35]. Por otro lado si las afirmaciones de conocimiento se mantienen estables y próximas al modelo científico se podrá atribuir a la formación de un posible esquema de asimilación.

En el caso en que para cierta clase de situaciones, las afirmaciones de conocimiento expresadas no sean coherentes con las concepciones científicas o la expresión de sus representaciones presente algún tipo de dificultad se considerará un nivel de conceptualización parcial *en el campo conceptual*. El individuo puede manifestar el dominio de ciertas situaciones pero este grado de apropiación no es suficiente para dar cuenta de las situaciones del campo conceptual.

Por otro lado si de cara a diferentes aspectos del campo conceptual se encuentran algunas expresiones pertinentes y otras que presentan dificultades no solo en las significaciones expresadas sino también en los significantes o en los modos de operar con ellos, se considerará que el nivel de conceptualización es incipiente.

A su vez si al resolver las diferentes situaciones no se encuentran respuestas adecuadas o son meramente reproductivas de los enunciados y/o superficiales se considera que no ha habido aun algún tipo de conceptualización.

III. METODOLOGÍA

La teoría de los campos conceptuales de [34] es una teoría cognitivista, para la que el aprendizaje de conceptos requiere que se identifiquen situaciones físicas que le den sentido al concepto a partir de sucesivas y variadas interacciones con ellas.

Por lo expresado, tanto en al inicio del proceso de enseñanza y aprendizaje como al finalizar el tratamiento de electromagnetismo, los estudiantes fueron enfrentados a situaciones problemáticas y cuestiones como ejercicios y problemas de lápiz y papel que ponían énfasis en aspectos fundamentales, a saber:

A: situaciones que requieren descripción usando el modelo de fuerza a distancia y que requieren diferenciación según el tipo de fuente. Para el diseño de estas situaciones se adaptaron experiencias clásicas de la bibliografía y de Mc Dermott *et al.* [36] las que se pueden observar en las situaciones 1 y 3 -d-e. Cabe destacar que estas actividades incluyen temas de electrostática para indagar el grado de dominio de estos contenidos y su diferenciación con los fenómenos magnéticos y electromagnéticos.

B: situaciones que involucran explicaciones sobre la naturaleza del campo magnético, la interacción entre campos magnéticos y sus implicaciones cinemáticas y energéticas;

C: situaciones que contemplan la generación de la femi según el movimiento relativo entre un imán coaxial con una espira conductora; adaptadas de [36];

D: situaciones que contemplan la generación de la femi según la circulación de corriente en un solenoide coaxial con una espira conductora, adaptadas de [36];

E: situaciones que contemplan la circulación de una corriente inducida a partir del movimiento de una espira cerrada dentro de diferentes regiones de campo magnético, adaptadas de [36];

F: situaciones que contemplan aplicaciones CTS a partir de las transformaciones energéticas como consecuencia de la inducción electromagnética;

G: situación que requiere una explicación acerca de la inducción electromagnética.

Así, las situaciones planteadas durante las diferentes etapas del proceso se refieren a:

- Definición sincrética de inducción.
- Interacción a distancia entre barra electrizada y esfera de aluminio.
- Interacción por contacto entre barra electrizada y esfera de aluminio.
- Interacción entre metal e imán.
- Interacción entre conductor con corriente e imán; entre solenoide con corriente y espira.
- Femi y corriente inducida en cinco espiras (una con área diferente) en movimiento en distintas posiciones dentro de un campo magnético saliente.
- Cálculo de la femi en una situación de circuito en U con barra deslizante dentro de un campo magnético.

Los alumnos del grupo en estudio, resolvieron las distintas actividades seleccionadas durante el periodo instructivo de la asignatura. Posteriormente se eligieron para su análisis las respuestas recolectadas a algunas de estas tareas especialmente las vinculadas a las temáticas enfatizadas de tres alumnos de distinto rendimiento académico con el fin de aproximar el estudio a los niveles de conceptualización alcanzados en un curso introductorio de Física clásica antes del examen final. En forma análoga los alumnos fueron entrevistados en profundidad al promediar el cursado de la asignatura para reafirmar, las tendencias observadas. La triangulación de la información se realiza al considerar las categorías empíricas, interpretativas y teóricas, [37].

En este trabajo se presenta precisamente el caso de estos alumnos.

IV. NIVELES DE CONCEPTUALIZACIÓN

Un análisis más pormenorizado de las respuestas, teniendo en cuenta los indicadores formulados para cada cuestionario, como así también el grado de organización conceptual, y las representaciones simbólicas utilizadas, permitió establecer estimativamente niveles de conceptualización –más bien globales- alcanzados por los alumnos [20, 10,11,12]. Al respecto, hay que destacar, que dado que se consideran tres ejes de contenidos como parte del recorte del campo conceptual, como constituyentes de

la trama del mismo, los niveles de conceptualización considerados, resultan de una apreciación global del proceso recorrido.

Por ende para cada nivel se considera:

Nivel Alto: Apropiación del campo conceptual. El estudiante posee competencias, es decir, puede resolver distintas clases de situaciones del campo conceptual vinculadas a los ejes temáticos seleccionados, clasifica en forma adecuada las interacciones electromagnéticas, logra representarlas a través de vectores, puede operar vectorialmente con ellas y las describe gráfica y lingüísticamente. En forma análoga con los contenidos del segundo eje, logra identificar claramente las fuentes de campo magnético, como corrientes, imanes y dipolos magnéticos, representa este campo magnético a través de líneas de fuerza continuas y puede analizar las interacciones entre campos magnéticos y sus consecuencias cinemáticas. Por otro lado maneja en forma adecuada la notación simbólica inherente al modelo científico. Con respecto al tercer eje, logran resolver situaciones vinculadas con la inducción electromagnética analizando la conservación de la energía y la ley de Lenz, resuelven situaciones sobre aplicaciones CTS. En síntesis, respecto al recorte del campo conceptual señalado, reúne los seis primeros ítems anticipados en la página 5.

Nivel Medio: Apropiación parcial del campo conceptual. Se sitúan aquellos alumnos que presentan algunas dificultades ya sea en los significados como en la manera de expresarlos. Estos alumnos presentan algunas limitaciones en diferentes aspectos del campo conceptual.

Son alumnos que si bien reconocen las interacciones, no pueden fundamentarlas científicamente o presentan dificultades en el uso o la interpretación de representaciones simbólicas.

Otros pueden presentar dificultades para reconocer la estructura interna de los imanes y se remiten a aspectos más superficiales. Existen casos en que no pueden decodificar las distintas expresiones gráficas, icónicas, geométricas o lingüísticas de los significantes.

Con respecto a la clase de situaciones vinculadas a la inducción electromagnética, suelen confundir la variación de la magnitud en el tiempo y la de dicha magnitud como por ejemplo “flujo magnético”

Nivel Bajo: Apropiación incipiente del campo conceptual. Los alumnos se encuentran en un estado incipiente de apropiación del campo conceptual. Aún tienen dificultades para operar con las magnitudes más relevantes o no logran decodificar y traducir la información expresada en términos verbales o lingüísticos, icónicos, gráficos, geométricos o formales. Si bien hay cierto nivel de organización estos niveles no son estables o no están conectados por lo que puede hablarse de una comprensión relativa. No se alcanza a inferir el uso de conocimientos-en-acción del concepto, al buscar la solución de un problema

Nivel NA: No apropiación del campo conceptual. Los estudiantes no poseen invariantes operacionales. Se encuentran los alumnos que no responden o sus respuestas son irrelevantes, o no son pertinentes o reproducen meramente el enunciado de las actividades.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presenta a modo de ejemplo el caso de tres alumnos que teniendo en cuenta lo antes expuesto, a juicio del investigador, evidencian un nivel alto, medio y bajo respectivamente.

A1 tiene 20 años y procede de una escuela técnica en electricidad especializada en automatización y mantenimiento industrial. Trabaja ocasionalmente en tareas vinculadas a su especialidad por lo que frecuentemente no asiste a clase.

Su lugar de residencia se sitúa en zona urbana, y tiene como promedio tentativo en la carrera 9 (nueve). Tiene pendiente una asignatura del plan de estudios de su carrera y ha rendido y aprobado quince. Estudia principalmente con el texto de Sears- Zemansky Young .

Inicialmente cuando se le pregunta acerca de la “Inducción”, remite a la Inducción electrostática de la que afirma:

“es un fenómeno por el cual las cargas de un cuerpo se reordenan cuando le aproximamos un cuerpo con un desequilibrio de cargas eléctricas.... Al ser las cargas de distinto signo se atraen” (R5 USI 17)

Al resolver el primer caso de la situación 1, afirma en forma coherente a su argumentación anterior

“al acercarse un cuerpo cargado negativamente al cuerpo neutro, el primero induce un reordenamiento de las cargas en el segundo” (R5 USI 1)¹

Como explicación plantea:

“las cargas negativas del cuerpo (a) atraen a las cargas positivas del cuerpo (b), y también repelen a las cargas negativas del cuerpo. (R5 USI2)

No clasifica el tipo de interacción y se expresa únicamente en forma lingüística.

Al acercarse el imán a la hoja de afeitar expresa escuetamente:

“Los imanes se utilizan para atraer cuerpos metálicos” (R5 USI 4)

En el tercer caso, destaca que las cargas pueden pasar de un cuerpo al otro y viceversa

En relación con las fuentes de campo magnético, parece haber construido significados claros y estables con respecto a la estructura interna de los imanes. Sus respuestas son breves y precisas.

“Un imán es un cuerpo que tiene dominios orientados, es decir coincide la dirección de rotación de moléculas del imán.” (R5 USI 6)

“Hasta ahora no se ha podido aislar un polo, en todo imán aparecen tanto polo norte como polo sur; si el extremo de un imán es polo norte necesariamente el otro extremo es polo sur. Es lo que indica la brújula.

Cambia la orientación por lo que dije y la velocidad...supongo que por lo mismo la energía.” (R5 USI 17)

En las respuestas a y c de la situación 3 –hilo de corriente próximo a un imán- se puede observar que dibuja líneas de campo magnético discontinuas que salen del polo norte y entran al polo sur, (Guisasola et al. op. cit.) aunque dibuja e identifica en forma correcta las líneas de campo magnético generadas por un hilo de corriente. Cuando se le pregunta respecto a las interacciones entre hilo de corriente e imán expresa que entre ellos habrá una fuerza sin entrar en mayores detalles

“el campo magnético del hilo interactúa con el campo magnético del imán produciéndose la fuerza F mostrada con rojo en el dibujo” (R5 USI 13)

Responde correctamente, la situación que plantea la interacción entre una espira conductora coaxial con un imán que se aleja y se acerca de la misma. Sin embargo, no describe ni explica cómo se produce energía hidroeléctrica en la región.

Por lo descrito, se puede observar que el estudiante A1, al inicio, ya explicita algunos conceptos y afirmaciones de conocimiento cercanos a los del modelo científico, que pone en juego a la hora de resolver estas situaciones. Dado que la mayoría de sus expresiones son lingüísticas, no está tan claro si cuenta con otro tipo de significantes.

Durante el desarrollo del curso, y en forma previa a la administración de nuevas tareas al cuestionario de integración, entre otras, se le plantea que represente y explicita la diferencia entre campo y flujo magnético, a lo que responde:

“El campo magnético es representado por medio de un vector B el cual indica su dirección y sentido aparte de su magnitud. La diferencia que existe con el flujo magnético es que éste se representa por una línea recta o curva, en el que el campo magnético en un punto cualquiera queda representado por la tangente a dicha línea. El espaciado de dichas líneas nos da una idea de la magnitud del mismo. Debido a que el campo magnético es único en cada punto estas líneas no se pueden intersectar. ” (R5 USI 25-26)

Representa el campo magnético a través de una flecha y acompañada del símbolo B y agrega la expresión matemática del flujo:

The image shows a handwritten mathematical equation for magnetic flux, $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$, enclosed in a rectangular box. The handwriting is in black ink on a white background.

FIGURA 1. Flujo Magnético Representación Alumno 1.

En esta etapa de A1, se puede apreciar la gradual apropiación del campo conceptual. Si bien, puede expresar simbólicamente esta magnitud, deja dudas respecto al grado de interpretación de esta relación, debido a que por un lado sus afirmaciones lingüísticas resultan incompletas pero además no recurre a la representación gráfica del flujo, lo

¹ R5 USI 1: dato ubicable en el Registro 5 correspondiente a la unidad de significado I 1.

que permitiría dilucidar si efectivamente tiene competencias para decodificar la expresión simbólica.

Promediando la instrucción, al responder el cuestionario de integración, y en relación a las interacciones de tipo electrostáticas, expresa sólo en forma lingüística, sobre la primera situación –aproximación de una barra cargada a una esfera metálica, una serie de afirmaciones que parecen sostenerse en forma organizada:

- (Si la barra está cargada) tiene carga negativa en exceso.
- Los electrones libres de la esfera se ven repelidos por la carga negativa de la barra.
- La carga se distribuye en la esfera.
- Hay mayor concentración de carga de un signo según la zona de la superficie de la esfera.
- Las concentraciones de carga en la esfera debidas al proceso explicado se denominan carga inducida.
- Se establecen fuerzas de atracción entre la barra y la zona de la esfera de distinto signo más próxima a ella.

Estas afirmaciones, aparecen así manifestadas por el estudiante en sus respuestas:

“Al acercar la barra electrizada los electrones libres de las esferas se ven repelidos por la carga negativa en exceso de la barra. Esto hace que los electrones se sitúen sobre la superficie izquierda de la esfera, quedando una concentración de carga en la superficie derecha de signo positivo, a estas concentraciones se las llama carga inducida. Debido a éste se establecen fuerzas de atracción entre las cargas positivas que se sitúan más próximas con las cargas negativas de la barra electrizada”. (R5 USII 1-3)

Cuando la barra y la esfera se presentan en contacto, A1 explica que en este caso se produce una transferencia de carga de la barra a la esfera.

En las siguientes respuestas utiliza nuevamente sólo representaciones lingüísticas

En relación a la interacción metal/imán, el estudiante A1 incorpora en sus afirmaciones algunos conceptos relevantes como: momentos magnéticos, dipolo magnético, campo magnético

Entre las afirmaciones de conocimiento que bien pueden ser teoremas en acto:

- Si la gillette (metal) está desmagnetizada, los momentos magnéticos están desalineados.
- Si los momentos magnéticos están desalineados tienen un momento magnético neto cero.
- El campo magnético de un imán orienta los momentos magnéticos en la dirección del campo magnético.
- Si los momentos magnéticos se orientan entonces en la gillette se forman dipolos magnéticos.
- Los dipolos magnéticos establecen polos magnéticos.
- La dirección del polo sur a norte señala el momento magnético formado.
- En consecuencia el polo norte del imán atrae el polo sur de la Gillette.

“La gillette inicialmente esta desmagnetizada lo cual significa que los momentos magnéticos están desalineados, teniendo un momento magnético neto cero. Al acercar un imán, el campo magnético del mismo orienta estos

momentos magnéticos en dirección del campo magnético formándose entonces la gillette un dipolo magnético, éste establece los polos magnéticos de manera que la dirección del polo sur a polo norte señala el momento magnético formado. Debido a esto, se atraen el polo norte del imán con el polo sur de la gillette (dipolo magnético)” (R5 USII 4-6).

Para el caso del bolígrafo y el papel, argumenta sobre la polarización que se produce en las cargas de las moléculas del papel, debido al exceso de carga de la barra, por lo que las concentraciones de diferentes cargas en cada cuerpo ocasionarán una fuerza de atracción entre ambos. El concepto de polarización ha sido probablemente incorporado y los modelos explicativos que utiliza son coherentes. En la situación referida al movimiento de cinco espiras dentro de un campo magnético (situación 7), es interesante destacar que A1, no solo evalúa correctamente las femi a través de cada espira y establece en forma adecuada el sentido de corriente en aquellas que corresponde, sino que también demuestra matemáticamente sus conclusiones, además de ofrecer una explicación coherente con el modelo científico y estable -en razón de la manera que sostiene una y otra vez sus ideas-. Ejemplos de lo que se interpreta puede observarse en las siguientes figuras.

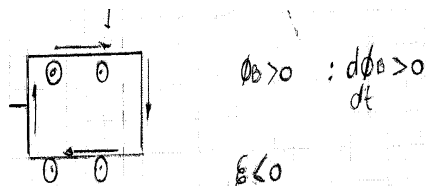


FIGURA 2. Representación Situación 4 a) Alumno1.

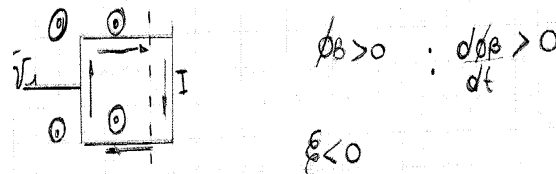


FIGURA 3. Representación Situación 4 c) Alumno 1.

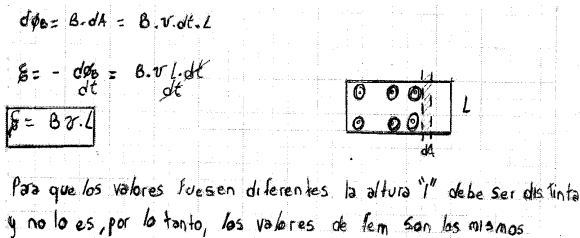


FIGURA 4. Cálculo de la femi para espira conductora en movimiento dentro de un campo magnético Alumno 1.

Los posibles conceptos y teoremas en acto parecen tener bases más profundas cuando A1 puede analizar la misma situación, en términos de las fuerzas actuantes sobre cada lado de la espira, destacando el efecto de la fuerza opuesta

a la dirección de la velocidad dado que se opone al movimiento de la misma y preservando así, el principio de conservación de la energía, como se puede apreciar en su respuesta:

“El hecho de que la corriente tenga el sentido antihorario hace que aparezcan las fuerzas de la manera representada, considerando entonces que las fuerzas que actúan en la parte superior e inferior se mantengan en equilibrio posibilitando entonces que actué la fuerza restante de manera que se opone al desplazamiento esto es debido a la ley de Lenz” (R, US).

A1 se expresa no sólo en forma lingüística sino también en forma pictórica y simbólica, como se observa en la siguiente figura.

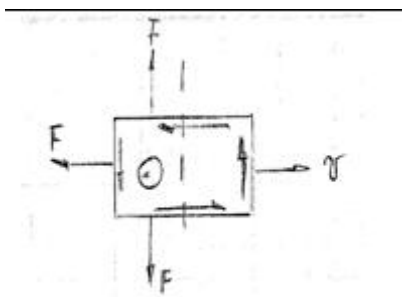


FIGURA 5. Fuerza sobre los lados de la espira y conservación de la energía.

Teniendo en cuenta la descripción de los niveles de conceptualización, A1 se encontraría en un nivel alto. Es decir, el estudiante puede resolver distintas clases de situaciones del campo conceptual vinculadas a los ejes temáticos seleccionados; manifiesta una organización rica en cuanto a las relaciones inferencias y argumentaciones, describe en cada caso y a través de distinto tipo de representaciones el objeto/evento de estudio presentado en cada situación y explica los comportamientos y las causas de los mismos. Se observa que gradualmente ha modificado sus afirmaciones de conocimiento en forma pertinente (mayor aproximación al modelo aceptado por la comunidad científica). Así clasifica en forma adecuada las interacciones electromagnéticas, logra representarlas a

través de vectores, puede operar vectorialmente con ellas y las describe gráfica y lingüísticamente. En forma análoga con los contenidos del segundo eje. Logra identificar claramente las fuentes de campo magnético, como corrientes, imanes y dipolos magnéticos, representa este campo magnético a través de líneas de fuerza continuas y puede analizar las interacciones entre campos magnéticos y sus consecuencias cinemáticas. Por otro lado se maneja en forma adecuada la notación simbólica disciplinar.

Con respecto al tercer eje, como se ha visto, logra resolver situaciones vinculadas con la inducción electromagnética, analizando la conservación de la energía y la ley de Lenz, y resolver situaciones sobre aplicaciones CTS. En la última etapa diagnosticada muestra estabilidad en las afirmaciones de conocimiento frente a las situaciones propias de cada eje.

El estudiante **A2** tiene 19 años. Es egresado de un polimodal de ciencias naturales en una escuela agraria a 100 Km. de la facultad, en el año 2002. Su promedio en la carrera es 8 (ocho). Estudia principalmente por Física Universitaria (volumen 2), Sears, Freeman y Young. Viaja lo estrictamente necesario, por lo que su asistencia a clase es irregular. A2, demuestra acceder con frecuencia a dicha bibliografía.

Al preguntársele respecto a lo que entiende por inducción, la define como una acción a distancia que implica un ordenamiento de cargas sin que el “numero de cargas se altere o cambie”:

“Creo que el concepto de inducción en el electromagnetismo se refiere al ordenamiento de las cargas eléctricas de un cuerpo debido al acercamiento de otro que se encuentra cargado, pero no por contacto...”

“Se puede explicar muy bien mediante el uso de un instrumento llamado electroscopio”. (R8, USI 9).

Luego describe el electroscopio y explica cómo observar la inducción, ayudándose de un dibujo, suponiendo que las cargas positivas se mueven hacia arriba –extremo superior del electroscopio–.

Parece que A2 conoce los primeros temas de la asignatura, particularmente los aspectos referidos al tema de la inducción electrostática que explica con claridad a través de lo que ocurre en un electroscopio. Sin embargo, al identificar los casos de la situación 1, confunde conducción con inducción.

En el cuestionario diagnostico inicial, acerca de las interacciones de tipo electrostática, en el primer caso –interacción barra electrizada con esfera de metal– repite la explicación mencionada. Sin embargo al considerar la barra y la esfera en contacto explica la interacción a partir de la transferencia de carga.

“...a diferencia del anterior se ponen en contacto la barra electrizada con la esfera, produciéndose una transferencia de cargas de un cuerpo a otro por medio de la inducción.” (R8, USI 2).

Cuando se trata del imán y la “pieza metálica” -hoja de afeitar-, alude a que los polos del imán producen un ordenamiento polar en el metal, al atraerlo:

“... ordenamiento polar en la gillette, atrayéndola” (R8, USI 3).

Con respecto a las fuentes de campo magnético, la descripción más disponible de un imán que posee se relaciona con los polos y la propiedad de atraer metales. Señala que “*los imanes son materiales que poseen polos magnéticos definidos*” agrega que son muy utilizados como por ejemplo en las brújulas, electroimanes, etc. Al preguntársele sobre los imanes insiste en su descripción bipolar:

“... *el imán consta de dos polos definidos, la brújula siempre apunta al polo norte*” (R8, USI 4-5).

En las aplicaciones CTS, -situación 5 – donde se le pide una explicación sobre la producción de energía hidroeléctrica, puede reconocer sincréticamente la transformación de la energía. A2 no responde el resto de las cuestiones.

Durante el proceso de enseñanza y aprendizaje, se le plantea una situación que consiste en la interacción entre un solenoide y una espira conductora coaxial de radio variable [34]. De las múltiples cuestiones que se le preguntan responde en términos de la fuerza sobre la espira:

“*si el radio de la espira aumenta, se producirá una corriente inducida ya que el campo que produce el solenoide ejercerá una fuerza sobre la espira que generará un movimiento de carga en ella*”... Agrega que “*si la espira quedase libre, el momento magnético de la espira tiende a alinearse con el campo magnético...*”

Como se observa en la figura, la corriente inducida indicada no respeta la Ley de Lenz y se convierte en un **error epistemológico** ya que contribuye a aumentar el flujo magnético cuando el radio crece.

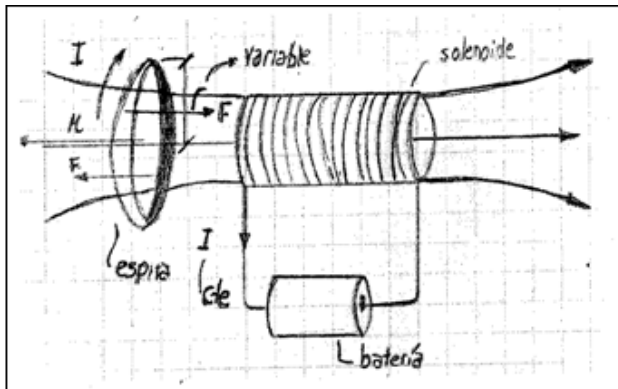


FIGURA 6. Interacción solenoide/espira de radio variable.

En el cuestionario **diagnóstico final** o de integración, los casos sobre interacciones electrostáticas y magnéticas son bien analizados aunque sólo recurre a representaciones lingüísticas y pictóricas para ilustrar sus afirmaciones.

Si bien asigna el sentido de corriente en forma adecuada en las cinco espiras (situación 6), no analiza correctamente el valor de las femi, si bien pone en juego conceptos y afirmaciones de conocimiento concordantes con el modelo científico. Sin embargo, o no interpreta bien la situación o una de las premisas en las que se afirma es falsa.

Como ya sabemos el flujo depende del área, y en la espira 1 el área que no está atravesada por el campo es mayor, siendo entre 4 y 5 igual (R8 USII 40-42).

Podría decirse que A2 se encuentra en un nivel de conceptualización parcial, dado que presenta aún algunas limitaciones. Respecto a los dos primeros ejes, no logra utilizar representaciones simbólicas que no sean los dibujos; parece no lograr formalizar su saber. Si bien ha iniciado un proceso de acomodación en cuanto a que logra aplicar la ley de Lenz, muestra que no alcanza a dominar la idea de variación de flujo; describe el objeto de estudio pero no logra explicar las causas de del mismo, observándose posibles obstáculos ontológicos y epistemológicos. La transformación de las afirmaciones de conocimiento hacia una mayor aproximación al modelo aceptado por la comunidad científica es lenta y requiere de la interacción con nuevas situaciones.

A3, técnico electromecánico, vive en un distrito cercano, por lo que diariamente debe viajar para concurrir a clase. Habitualmente lo hace en bicicleta. Ayuda a su padre en la finca. El promedio de su carrera es 8 (ocho) hasta el momento. No debe ninguna materia y las ha aprobado por promoción directa, sin examen final, lo que habla de su tesón.

A3, menciona haber estudiado electromagnetismo, en el colegio secundario. Cuando se le pregunta acerca de la inducción, inmediatamente la vincula a lo que él designa como “*inducción magnética*”. Argumenta en forma contundente sobre qué la produce y cómo se produce, expresando varias afirmaciones de conocimiento que pueden ser signo de los invariantes que posee. Recurre a una amplia variedad de conceptos que considera relevantes y que pone en juego a la hora de expresarse, relacionándolos a través de ideas que considera verdaderas y que sustentan su razonamiento que expresa de este modo:

“... *debía existir un campo magnético en el cual se encuentran las líneas de fuerza las cuales deben cerrarse en algún lugar en el espacio...*”

... “*Para que se produzca una inducción debe existir una fuerza electromotriz que es la diferencia de potencial magnético entre dos puntos...*”

La inducción se produce al poner una porción del material ferromagnético en un campo magnético, las líneas de fuerza lo ¿atraerán? con una cierta cantidad de líneas de fuerza, por unidad de área.

La inducción magnética depende de las características del material mencionado, y de la intensidad del campo magnético. “(R3 US 1 8-11)

En el cuestionario diagnóstico inicial, al resolver la primera situación; interacción de la barra electrizada con una esfera de aluminio, A3 expresa

“*En este caso la barra se acerca (electricidad negativamente).. en la esfera se concentraron las cargas positivas del lado de la barra y del otro las cargas negativas*” (R3 US I 4)

En el segundo caso, la interacción entre la hoja de afeitar y el imán, diferencia el imán del acero en cuanto a la invariancia de la propiedad magnética del imán respecto a un material como el acero:

...” en cambio el acero, en presencia de un campo magnético, orienta sus dipolos de tal manera que se transforma en un imán no permanente.... Acero implica un material ferromagnético” (R3 USII 4-6)

Sin embargo, no llega a explicitar el tipo de interacción como tampoco explica lo que efectivamente sucede.

Cuando se trata de una barra electrizada en contacto con una esfera de aluminio, alude a que la esfera, en su zona próxima a la barra acumulará la mayor cantidad de carga posible de signo contrario.

Es interesante observar las expresiones que utiliza al explicar la interacción entre el imán y la hoja de afeitar, en tanto argumenta que “el imán debe borrar líneas magnéticas”.

“La gillette se desplaza hacia el lado del imán, en primer lugar porque ella es de acero, y en segundo lugar porque el imán debe borrar las líneas magnéticas las cuales tocan a la gillette, atrayéndola hacia el imán (par de imanes)” (R3 USI 2-3).

A3, al explicar en los inicios del cursado, el principio de generación de corriente hidroeléctrica, al resolver la situación 5 explica:

“La corriente se produce en centrales eléctricas accionadas por diversos mecanismos como lo pueden ser: turbinas de vapor, turbinas de agua...”

Encuentra el rotor del generador de electricidad, éste induce un campo magnético en el núcleo metálico en los bobinados del estator, logrando hacer circular corriente eléctrica en ellos, lo cual se distribuirá en una red eléctrica.” (R3 USI 2-3).

El alumno A3, posee en su estructura cognitiva conceptos que considera relevantes y que selecciona al enfrentar situaciones y tareas dentro del campo conceptual, si bien la diversidad que explicita es insuficiente. Más allá de ello, se observa una pobreza en cuanto el tipo y cantidad de relaciones que establece.

Durante el proceso de enseñanza y aprendizaje, A3, manifiesta inconvenientes a la hora de interpretar el enunciado de una situación. Tiene dificultades para representar pictóricamente tanto el dibujo de la situación – cable –brújula como las magnitudes vectoriales intervinientes. Éste es un obstáculo recurrente en varios de los estudiantes de este grupo, que es detectado al plantear en el pizarrón esta situación. Luego de un par de clases de discusión grupal, se le pide analizar lo que le sucede a un imán si se suspende próximo a un hilo de corriente que forma parte de un circuito [34]. A3 afirma que:

“para que gire en el sentido de la figura (antihorario) el hilo debería crear un campo tal que se enfrente con el sur del imán y para ello la corriente debería ir “hacia abajo” –ver figuras 2 y 3

Como se observa en la figura de la derecha, A3 representa la línea de campo magnético convencional alrededor del hilo de corriente, aunque no la denomina. Señala el movimiento de rotación del imán como si experimentara el rechazo del polo norte al conductor. La pregunta es si considera que el conductor de corriente ha creado un polo sur en las proximidades del imán

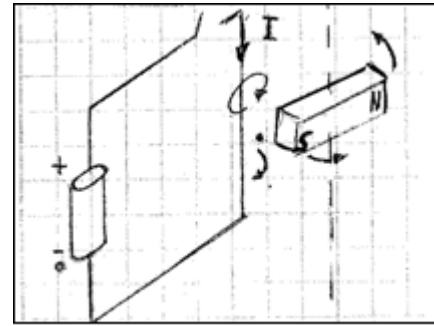


FIGURA 7. Interacción hilo de corriente/imán Alumno 3.

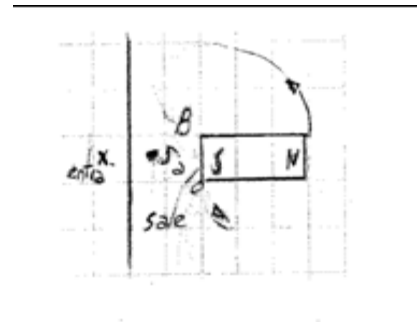


FIGURA 8. Representaciones líneas magnéticas imán - hilo de corriente Alumno 3

En el dibujo ampliado, Figura 8, se puede observar que A3 asigna efectivamente el polo sur al hilo de corriente en el punto indicado con “S” donde se interpreta que el campo magnético del hilo “sale de la hoja”; contrariamente dibuja una línea de campo magnético del imán ingresando al polo sur del mismo. ¿Acaso en A3 se plantean dos convenciones contradictorias? ¿Tal vez en vías de reestructuración? ¿O es un problema de significantes?

El estudiante A3, parece reconocer las fuentes de campo magnético aunque tenga aún dificultades para describirlas recurriendo a un tipo de expresiones como las simbólicas y pictóricas.

Más adelante, se le pide que resuelva un ejercicio típico de los de fin de capítulo de la bibliografía tradicionalmente utilizada en estos cursos, donde debe aplicar la Ley de Faraday Lenz para calcular la Fem máxima inducida y deducir la expresión general de la fem, generada por una espira en rotación dentro de un campo magnético uniforme. A3 logra calcular en forma correcta la fem máxima inducida, pero manifiesta dificultades para derivar la expresión del flujo magnético (regla de la cadena) y expresar la descripción simbólica temporal de la fem. Tampoco logra representar gráficamente dicha función.

En el cuestionario de integración, al resolver la primera situación, interacción de la barra electrizada con la esfera de aluminio, A3 parece tener para sí, muy en claro el tipo de interacción:

“La barra electrizada con carga positiva en el extremo, produce una fuerza y una polarización sobre la esfera de

aluminio,.. la atrae porque la distinción entre la carga positiva y la carga negativa de la esfera, es menor que la carga positiva de la barra con la carga positiva de la esfera, esto es debido a que la fuerza es proporcional a $1/d$ al cuadrado” (R 3 USII 1-3).

Si bien su argumentación es más bien descriptiva, reconoce la interacción como una fuerza que depende de la diferencia de signos de las cargas, y esboza un principio o modo de cuantificación lo que podría representar una modelización incipiente. Pone en juego conceptos como “polarización” “proporcionalidad” y “recíproco de distancia al cuadrado” vinculando estos conceptos mediante dos afirmaciones que podrían considerarse derivada de un posible teorema en acto:

“La fuerza depende del signo de la carga y de la distancia al cuadrado”.

Cuando barra y esfera, se presentan en contacto, A3 señala que:

“la barra transporta sus cargas a la esfera, por lo tanto la esfera tendrá más cargas positivas que negativas, quedan juntas si el hilo es no conductor” (R3 USII 7-8).

Al analizar la interacción entre un imán y un metal señala que el acero al estar dentro del campo magnético B del imán, orienta sus dipolos transformándose en un imán permanente.

El estudiante A3, posee cierto conocimiento que pone en juego a la hora de explicar estos casos dentro del eje sobre interacciones mediadas por la fuerza de Lorentz, pero parece que no se han relacionado entre sí – organizado-suficientemente, como para conformar un fuerte esquema que le permita dominar la temática en forma plena y resolver este tipo de situaciones. La expresión de sus representaciones es preferentemente lingüística.

Respecto a la situación en la que se presenta un solenoide por el que se hace circular corriente enfrentado a una espira conductora, es interesante mencionar que sus respuestas son adecuadas y es de destacar el argumento utilizado al justificar el sentido de circulación de corriente inducida en la espira conductora (situación 6), en cuanto señala que:

“la femi debe tener valor negativo para que responda a la conservación de la energía; esto significa polarizar”(R3 USII 22).

Al realizar la entrevista con A3, se le pregunta qué conjunto de conceptos seleccionaría para analizar el problema de las cinco espiras que se mueven en un campo magnético, a lo que responde si bien en términos de flujo, un argumento centrado en el campo magnético y las líneas de campo:

“Inducción, campo, líneas, para mí es la más adecuada, y creo que faltaría .. al cortar las líneas de campo se me produce el flujo... Lo que pasa es que yo lo tomaba del punto de vista que en la secundaria estudiábamos en base al bobinado primario cuando se induce la fem.”

... el barrido me corta las líneas de campo en ese sentido, entonces se opone al movimiento, por ejemplo cuando tenemos el circuito y éste está conectado así, acá venía una corriente en sentido así para atrás del alambre

que contrarreste al campo que produjo esa corriente” (R3 USIII 1-2).

Las dificultades que aún se perciben en A3, como pudo verse a lo largo de toda la entrevista, como por ejemplo, el manejo vectorial y alguna de las relaciones que establece – posibles teoremas en acto- diferentes a las del modelo científico, lo ubican en un nivel aún bajo de conceptualización.

A continuación se sintetizan los resultados del análisis realizado:

VI. CONCLUSIONES

En primer lugar, la investigación sobre los tres estudios de caso realizada, nos reafirma en que para buscar información sobre los procesos cognitivos para poder intervenir en las operaciones de regulación del aprendizaje, de tal forma que el estudiante, construya su saber sobre un campo conceptual particular de la Física y su proceso resulte a través de un proceso evolutivo, en una reelaboración de las acciones y los productos al interactuar con diversas situaciones y problemas hace imprescindible explorar como punto de partida, las representaciones simbólicas y los invariantes operatorios_ usados por los estudiantes para operar en forma adecuada o no, en la resolución de dichas situaciones o problemas.

Como señala Vergnaud [30], la conceptualización es un proceso que forma parte de la actividad, y es necesario, pues, captar las conceptualizaciones que operan en los esquemas, tanto si son explícitas como implícitas. Por ello, el análisis realizado permite concluir en las diferencias que presentan los tres niveles de conceptualización descriptos en los términos antes enunciados. Así se encuentran claras distinciones en cuanto al manejo de las representaciones simbólicas utilizadas por los alumnos, para cada conjunto de actividades.

Por ejemplo, en la clase de situaciones vinculadas al eje “interacciones” se observa con relación a la fuerza de Lorenz, diferentes grado de dominio en lo que refiere a representaciones de tipo geométricas como las operaciones entre vectores; dificultades de decodificación de un sistema representacional en otro y distintos niveles de coherencia entre representaciones pictóricas y lingüísticas.

En las tareas y actividades incluidas dentro del eje “inducción electromagnética” se observan habilidades diferentes frente a operaciones matemáticas particularmente a la hora de calcular e interpretar la variación del flujo de una magnitud dependiente del tiempo.

Con referencia a los significados construidos se pudo detectar en cada eje que la evolución de la conceptualización no es lineal sino que presenta avances y estancamientos en el proceso de acomodación de los esquemas, en algunos casos aparecen un probable tipo de fijación funcional que inhibe a modo de obstáculo la reestructuración de los significados. Sólo en el caso identificado como “nivel alto” se observó una tendencia a sostener en forma recurrente el modo de operar sobre las

situaciones. En el segundo caso- nivel parcial- el desarrollo de los esquemas que alcanza el estudiante le permite operar con las situaciones. Si bien se observan limitaciones en las representaciones simbólicas que utiliza, sus explicaciones muestran una cierta organización de las ideas para reflejar – aunque parcialmente- la comprensión de las situaciones. Finalmente el tercer estudiante, a pesar de que inicialmente parece contar inicialmente con una base de significados, los mismos parecen estar “anclados” en el esquema de asimilación ya que no presentan una evolución adaptativa que implique rupturas hacia la conformación de nuevos y/o más ricos esquemas con los que operar frente a la clase de situaciones presentadas. En suma, en forma coincidente con los autores antes mencionados se reconocen principalmente al inicio del tratamiento didáctico dificultades como la identificación de interacciones a distancia, el reconocimiento pleno de la fuerza de Lorentz, confusiones entre cargas eléctricas y polos magnéticos o entre flujo y campo magnético y /o su variación. En el transcurso del proceso de conceptualización algunas de estas ideas se transforman y comienzan a emerger afirmaciones de conocimiento más próximas a la de los modelos científicos.

Como señala Vergnaud [28] “*pequeñas rupturas son mejores que las grandes, pero hay que ver cada caso cada alumno para saber cual es una ruptura pequeña o grande*”. Sirva como fortalezas de este trabajo, el estudio detallado de la actividad de estos alumnos como también el que se analizó un abanico de situaciones dentro del campo conceptual y no sólo aquellas específicamente referidas a los fenómenos de inducción, en cuanto desde la óptica de [28] para el estudio de los campos conceptuales considera que “*no se puede estudiar el desarrollo de un concepto de manera aislada, porque siempre está tomado de un conjunto, formando un sistema*”.

REFERENCIAS

- [1] Pocoví, M., Bárcena; H., Hoyos, E., *Campo eléctrico y líneas de fuerza ¿ayuda un currículo históricamente rico a la comprensión de estos conceptos?*, V SIEF (Simposio de Investigadores en Educación en Física). Argentina, 51 (2000).
- [2] Pocoví, M., Finley, F., *lines of Force: Faraday's and Student's views*, Science & Education **11**, 459-474. (2002)
- [3] Velazco, S., Salinas, J., *Modelos para el campo eléctrico en estudiantes universitarios a posteriori de la instrucción*, IV SIEF (Symposium de Investigadores en Educación en Física). Argentina, 341 (1998).
- [4] Furió, C., Guisasola, J., Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico, Enseñanza de las Ciencias **15**, 259-271 (1997).
- [5] Sánchez, D., Concarí, S., *La Ley de inducción de Faraday: Una propuesta para la enseñanza media técnica*, REF XI (Reunión en Enseñanza de la Física). Argentina, 94. (1999)
- [6] Soarez Gomez De Sousa, C., Fávero, C., Análise de uma situação de resolução de problemas de física, em

- situação de interlocução entre um especialista e um novato, à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. *Investigações em Ensino de Ciências* **7**, 1-24 (2002).
- [7] Stipich, M. S., Moreira, M. A y Caballero, M. A. Una interpretación de las opiniones de ingresantes a la universidad sobre la noción de interacción, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* **3**(1), (2004).
- [8] Escudero, C., Moreira, M. y Caballero, M. C., Teoremas-en-acción y conceptos-en-acción en clases de física introductoria en secundaria, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, **2** (3), (2003).
- [9] Campanario, J. M. y Otero, J. C., *Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de Ciencias*. Enseñanza de las Ciencias **18**, 155-169 (2000).
- [10] Henríquez LLancaqueo, A. y Caballero Sahelices y Moreira, M. *El aprendizaje del concepto de campo en física: conceptualización, progresividad y dominio*. Tesis doctoral. Servicio de Publicaciones, Universidad de Burgos.España (2006)
- [11] Henríquez LLancaqueo, A. y Caballero Sahelices y Moreira, M. Conceptualización Inicial de los concepto de Fuerza y Energía, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, VIII Congreso Internacional en la Didáctica de las Ciencias. Barcelona. (2009).
- [12] Moreira, M. Caballero Sahelices C. y Vergnaud, G., *La teoría de los campos conceptuales y la enseñanza aprendizaje de las ciencias*. Servicio de Publicaciones, Universidad de Burgos, Estudios y monografías nº 49. España (2009).
- [13] Guisasola, A. J., Salinas, J., Almudi, J., y Velazco, S., Análisis de los procesos de aplicación de las Leyes de Gauss y Ampère por estudiantes universitarios de España y Argentina, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **1** **25**, 195-206 (2003)
- [14] Meneses Villagrà, J. Y Caballero Sahelices, C. *Secuencia de enseñanza sobre el electromagnetismo*. Enseñanza de las Ciencias **13**, 1 (1995).
- [15] Perez Mendoza. Ingeniería & Desarrollo. *Concepciones alternativas Electromagnéticas en estudiantes*. Universidad de Física General. y sus implicancias en las enseñanza **6**, 5-27 (1999). www.Ciruelo.uninorte.edu.com.
- [16] Guisasola, A. J., Almudi, J. M., Ceberio, M., *Concepciones alternativas sobre el campo magnético estacionario*: Selección de cuestiones realizadas para su detección, Enseñanza de las ciencias **21**, 281-293 (2003)
- [17] Johnson-Laird, P. N., *Mental Models*, (Harvard University Press, Cambridge: MA, 1983).
- [18] Greca, I., Moreira, M. A., *Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo*, Enseñanza de las Ciencias **6**, 289-303 (1998).
- [19] Greca, I. y Moreira, M. A., *Un estudio sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales, respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de Física general, estudiantes de postgrado y profesores*, (U.F.R.G.S., Porto Alegre, 2000).

- [20] Borges, T., Como Evoltem Os Modelos Mentais, *Revista Ensaio, Pesquisa Educação em Ciências* **1**, 85-125 (1999).
- [21] Guisasaola A. J., Zuka, J., Almudi, J. y Zubimendi, J., Campo magnético: diseño y evaluación de estrategias de enseñanza basadas en el aprendizaje como investigación orientada, *Enseñanza de las ciencias* **23**, 303-320 (2005).
- [22] Almudi, M., Zuza, K. y Bonet, E., *Explicando los fenómenos de inducción electromagnética: Relevancia de su enseñanza y dificultades de aprendizaje*, VII Congreso de Enseñanza de las Ciencias, España, (2005).
- [23] Vergnaud. G., La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques* **10**, 133-170 (1990).
- [24] Barais, A. W. and Vergnaud, G., *Students' conceptions in physics and mathematics: biases and helps*. In Caverni, J. P. **78**, (1990).
- [25] Franchi, A. *Considerações sobre a teoria dos campos conceituais*. In Alcântara. (1999).
- [26] Rodríguez Palmero, M. y Moreira, M., Modelos mentales vs. Esquemas de célula, *Investigações em Ensino de Ciências – V* **7**, 77-103 (2002)
- [27] Rodríguez Palmero, M., *La Teoría del aprendizaje significativo en las perspectiva de la psicología cognitiva*, Edit. Octaedro, 88-115 (2008).
- [28] Vergnaud, G., *The nature of mathematical concepts*. In Nunes, T. & Bryant, P. (Eds.) Learning and teaching mathematics, an international perspective. Hove (Psychology Press Ltd., East Sussex, 1997).
- [29] Moreira, M., La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, la Enseñanza de las ciencias y la investigación en el área. *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*, 7(1) //www.if.ufrgs.br/ienci, (2002.)
- [30] Vergnaud, G., *Investigações em Ensino de Ciências – V* **12**, 285-302 (2007).
- [31] Vergnaud, G., *Teoria dos campos conceituais*. In Nasser, L. (Ed.) Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro, (1993) p. 2.
- [32] Vergnaud, G., *Multiplicative conceptual field: what and why?* En Guershon, H. and Confrey, J. (Eds.), The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics (pp. 41-59), (State University of New York Press., Albany, N.Y., 1994) p. 53.
- [33] Vergnaud, G., Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas* **26**, 201 (1996).
- [34] Vergnaud, G., *A comprehensive theory of representation for mathematics education*, Journal of Mathematical Behavior **17**, 168 (1998)
- [35] Moreira, M. A., *Representaciones Mentales*, Com. Pers. Programa Internacional de Doctorado en Educación en Ciencias – Burgos (2000)
- [36] Mcdermott, L., *Tutoriales para Física Introductoria*, (Prentice Hall, Argentina, 2001).
- [37] Berteley Busquets, M., *Una aproximación a la vida escolar*, (Paidós ibérica, Barcelona 2000) Cap. 3.

ANEXO

Situaciones

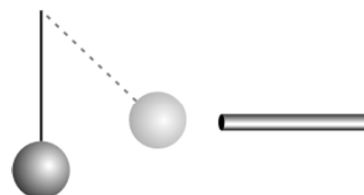
Situación 1

A continuación se presentan cuatro situaciones físicas diferentes En el primer caso, al aproximar una barra electrizada a una esfera de aluminio suspendida de un hilo, se observa que ésta se separa de su posición vertical. En el segundo caso se observa algo similar con una hoja de afeitar cuando un imán se acerca a la misma. ¿Por qué cree que tanto la esfera como la hoja de afeitar se alejan de su posición de su posición de equilibrio?. En el caso III, se observa la misma barra electrizada del primer caso pero ahora “toca” a una esfera de aluminio. ¿Cuál es la diferencia con el caso I y por qué cree que la esfera de aluminio queda “pegada”, por un instante a la varilla?. Observe con cuidado el cuarto caso, ¿porqué los trocitos de papel quedan adheridos a una lapicera previamente frotada con un paño de lana?

Cuestión 1

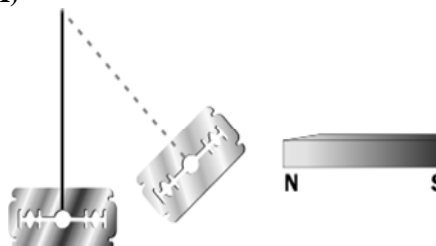
- Identifique el tipo de interacción para Casos I y III: la esfera y la barra - Caso II: el imán y la hoja de afeitar – Caso IV la birome y los trozos de papel – Para ello coloque una (X), según corresponda, en la tabla que figura debajo de los dibujos.
- Represente gráficamente, las fuerzas actuantes- si las hubiera- en cada caso, en el casillero correspondiente de la tabla.
- Incluya sus explicaciones en la última columna de la tabla.

I)



Esfera de aluminio Barra electrizada

II)



gillete

III)



Esfera de aluminio Barra electrizada

IV)



Trozos de papel Birome frotada

Caso		I	II	III	IV
Tipo de Interacción	a) a distancia				
	b) de contacto				
	c) Fuerza electrostática				
	d) Fuerza magnética				
Representación gráfica de la fuerza					
Explicación					

Situación 2

Si se deposita con cuidado una aguja imantada sobre la superficie del agua contenida en un vaso, la aguja se mantiene en la superficie, y guarda siempre la misma orientación geográfica aunque se gire el recipiente.

- a) Explique por qué ocurre este fenómeno
 b) Si al orientarse la aguja ésta gira, hay un movimiento de rotación ¿cuáles de las siguientes magnitudes crees que varían y por qué? Señale con una X, aquella que considere correctas y explique su razonamiento.

Magnitudes	Explicación
Velocidad	
El campo magnético de la brújula	
La energía	
Otras ¿cuáles?	

Situación 3

Se coloca un imán sobre un plano, cerca de un cable que forma parte de un circuito, por el que circula corriente y que atraviesa en forma perpendicular al plano sobre el cual se apoya el imán. Entre el imán y el cable se produce una interacción electromagnética. Por ejemplo, el imán puede

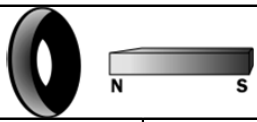
tender a girar, en sentido horario o antihorario de acuerdo al sentido de circulación de corriente por el cable.

I) Dibuje la situación en el casillero de la izquierda. II) Represente en el dibujo, las interacciones presentes. III) si la afirmación es V o F y fundamente en el casillero derecho sus respuestas

a) En el imán hay líneas de campo magnético	
b) Si se cambia la orientación del imán acercando el polo sur al cable, el sentido de las líneas de campo magnético de la corriente se invierte	
c) El cable produce un campo magnético	
d) El imán ejerce una fuerza de atracción sobre el cable	
e) Si se cambia la orientación del imán colocando el polo sur mas cerca del cable, el cable será rechazado	
Fundamentaciones	

Situación 4

Imagine que el imán de la figura está inicialmente fijo y comienza a acercarse a la espira de cobre que está a su izquierda. Al llegar a la misma se detiene y luego de un tiempo comienza a alejarse hacia la derecha. ¿Circulará corriente en la espira?

Analice cada uno de los siguientes casos, indique si la afirmación es V o F y explique con cuidado su razonamiento			
	a) Justo después de que el imán inicie su movimiento, una corriente circulará por la espira	b) Un largo tiempo después de que el imán se haya detenido, la corriente seguirá circulando	c) Justo después de que el imán comience a alejarse, no circula ninguna corriente en la espira
Explicaciones			

Situación 5

Explique cómo se produce energía hidroeléctrica en nuestra región. Tome el ejemplo de cualquiera de los diques que conoce y realice un croquis explicativo. ¿Tiene este recurso alguna relación con los fenómenos electromagnéticos? Explique su argumento con detalle.

Descripción	Explicación	Representación gráfica

Situación 6

Imagine que en la figura que sigue, el objeto de la derecha (solenoides) está fijo y el interruptor del circuito está abierto.



Cuestión 1: Suponga ahora que cierra el circuito ¿circulará corriente en la espira conductora de la izquierda?

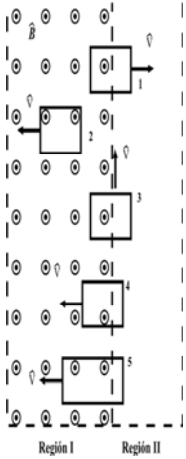
Cuestión 2: Analice cada uno de los siguientes casos, indique si la afirmación es V o F en el casillero central de la tabla que sigue y explique con cuidado su razonamiento

Opciones	
a) Justo después de cerrar el interruptor, una corriente circulará por el solenoide y por la espira	
b) Un largo tiempo después de cerrado el interruptor, sólo habrá corriente en el solenoide	
c) Justo después de reabrir el circuito, no circula ninguna corriente en el solenoide y en la espira	
d) un largo tiempo después de reabrir el circuito, no circula ninguna corriente en el solenoide y en la espira	
e) otra	
Explicaciones	

Cuestión 3: Si consideró que en alguno de los casos habría una corriente inducida, suponga que el plano de la espira es perpendicular al plano de la hoja. Si se ubica entre el solenoide y la espira ¿cuál será el sentido de la corriente que circula por la espira conductora? Señale en el diagrama, el sentido de la corriente que considere correcto. Coloque una V o F según corresponda e indique el caso que el esquema ilustra.

a) El sentido de la corriente en la espira es horario	b) El sentido de la corriente es antihorario
---	--

Situación 7

<p>Las cinco espiras de la gráfica 1 del cuadro a la derecha, están hechas de cable de cobre del mismo calibre (área de la sección transversal). Las espiras 1->4 son idénticas; la espira 5 tiene la misma altura que las otras pero es mas larga. En el instante mostrado, todas las espiras se mueven a la misma velocidad en las direcciones y sentidos indicados. En la región I, hay un campo magnético uniforme saliente de la hoja. En la Región II, no hay campo magnético. Ignore cualquier interacción entre las espiras</p> <p>a) para cada espira que tenga una corriente inducida indique en la gráfica el sentido de la misma</p> <p>b) Ordene de mayor a menor el valor de la fem de las espiras y explique en el cuadro que sigue su razonamiento</p>	<p>Gráfica 1</p> 
<p>Explicaciones</p>	