



Universidad Nacional del Comahue
Maestría en Enseñanza de Ciencias Exactas y Naturales

Tesis de Maestría

“El empleo de TIC como estrategia de enseñanza del movimiento de cargas en campos eléctricos y magnéticos uniformes. Un análisis desde la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud.”

Graciela María Serrano

Director de Tesis

Dra. Lidia Catalán

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional del Comahue

Diciembre de 2013

RESUMEN

En esta Tesis se pretende indagar, desde un enfoque cognitivo, la construcción de conocimiento de alumnos de Nivel Superior sobre el movimiento de cargas en campos uniformes, tomando como referente teórico para la investigación la Teoría de los Campos Conceptuales de Gerard Vergnaud. Para la investigación se seleccionó una muestra pequeña de manera no aleatoria, de modo de explorar mediante la metodología de estudio de caso los posibles invariantes operatorios evidenciados por el alumnado al implementar situaciones especialmente diseñadas que involucran el uso de TIC. Se espera con este trabajo indagar cómo se construye conocimiento sobre el concepto de movimiento de cargas en campos mediado con herramientas informáticas.

ABSTRACT

In this Tesis, it is pretended to investigate, from a cognitive focus, the construction of the knowledge from university students about the charges movements in uniform fields, taking as a theoretical reference for the investigation, the Conceptual Fields Theory from Gerard Vergnaud. For the investigation, a small sample non-randomly was selected, in order to explore through study methodology the possible operational invariants evidenced by students by implementing specially designed situations involving the use of ICT. In this work, we hope to investigate how knowledge is built on the concept of charges movements in fields, mediated by informatics tools.

Palabras clave: TIC, campo eléctrico uniforme, campo magnético uniforme, Campos Conceptuales de Vergnaud, movimiento, enseñanza, aprendizaje.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia,

A mi directora de tesis,

A quienes brindaron una palabra de aliento.

ÍNDICE

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE.....	iii
CAPÍTULO 1: Introducción.....	1
1.1. Estado actual de conocimiento sobre el tema y problemática a abordar.....	1
El problema:.....	1
1.2. Justificación y estado actual de conocimiento sobre el tema:.....	2
CAPÍTULO 2: Marco Teórico.....	8
2.1. Las TIC y la enseñanza de la Física:.....	8
2.2. La Teoría de los campos conceptuales:.....	11
2.3. El movimiento de cargas en campos electromagnéticos uniformes:.....	14
CAPÍTULO 3: Desarrollo.....	19
3.1. Pregunta central, objetivos, hipótesis.....	19
3.1.1. Pregunta central.....	19
3.1.2. Objetivo General.....	20
3.1.3. Objetivos específicos.....	20
3.1.4. Hipótesis orientadora.....	20
3.2. Metodología:.....	21
3.2.1. La población y el contexto, justificación del diseño.....	21
3.2.2. Recolección de datos. Instrumentos.....	23
3.3. Los datos.....	29
3.3.1. Resultados.....	30
3.3.1.1. Fase inicial (diagnóstico general).....	30
3.3.1.2. Primera Fase. Primera parte: diagnóstico del movimiento de proyectiles en campos gravitatorios.....	35
3.3.1.3. Primera Fase. Segunda parte: laboratorio virtual movimiento de cargas en campo Eléctrico uniforme.....	39
3.3.1.4. Primera Fase. Tercera parte: post-laboratorio virtual movimiento en campo Eléctrico.....	50

3.3.1.5. Segunda Fase. Primera parte: diagnóstico del movimiento de cargas en campos magnéticos uniformes.....	56
3.3.1.6. Segunda Fase. Segunda parte: laboratorio virtual de movimiento en campo magnético uniforme.....	62
3.3.1.7. Segunda Fase. Tercera parte: post laboratorio movimiento de cargas en campos magnéticos uniformes.....	73
3.3.2. Interpretaciones y conclusiones parciales.....	80
3.3.2.1. Fase inicial (diagnóstico general).....	80
3.3.2.2. Primera fase. Primera parte: diagnóstico del movimiento de proyectiles en campos gravitatorios.....	84
Posibles IOF (invariantes operatorios físicos):.....	89
3.3.2.3. Primera fase. segunda parte: laboratorio virtual movimiento de cargas en campo Eléctrico uniforme.....	95
Posibles IOF (invariantes operatorios físicos):.....	106
3.3.2.4. Primera fase. tercera parte: post-laboratorio virtual movimiento en campo Eléctrico.....	109
Posibles IOF (invariantes operatorios físicos):.....	120
3.3.2.5. Segunda fase. Primera parte: diagnóstico del movimiento de cargas en campos magnéticos uniformes.....	122
Posibles IOF (invariantes operatorios físicos):.....	131
3.3.3.6. Segunda Fase. Segunda parte: laboratorio virtual de movimiento en campo magnético uniforme.....	136
Posibles IOF (invariantes operatorios físicos):.....	149
3.3.2.7. Segunda Fase. Tercera parte: post laboratorio movimiento de cargas en campos magnéticos uniformes.....	156
Posibles IOF (invariantes operatorios físicos):.....	166
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES.....	177
4.1. Conclusiones generales.....	178
4.2. Consideraciones finales.....	192
Reflexión final.....	196
BIBLIOGRAFÍA.....	198
ANEXOS.....	205
Anexo 1: Diagnóstico general.....	205
Anexo 2: Primera fase- Primera etapa - diagnóstico (movimiento de cargas en campos gravitatorios).....	208
Anexo 3: Primera fase- Segunda etapa - Laboratorio virtual de movimiento de cargas en campo eléctrico.....	209

Anexo 4: Primera fase- Tercera etapa – Post simulador E.....	212
Anexo 5. Segunda fase- Primera etapa. Actividades de diagnóstico de movimiento de cargas en campo magnético (en aula).....	213
Anexo 6. Segunda fase- Segunda etapa B. Laboratorio virtual de movimiento de cargas en campos magnéticos.....	214
Actividades:.....	214
Anexo 7. Segunda fase- Tercera etapa B. Actividades post laboratorio virtual.....	216
Anexo 8: Organización de las respuestas de los estudiantes en las diferentes situaciones (correspondientes a Anexos 2 a 7):.....	217

CAPÍTULO 1: Introducción

En este Capítulo 1 se presenta el problema de investigación y la justificación de su importancia. El problema determinó la selección del marco teórico que se encontrará en el Capítulo 2, y el diseño de la investigación que se expondrá en el Capítulo 3.

1.1. Estado actual de conocimiento sobre el tema y problemática a abordar.

El problema:

La Física es una ciencia cuyo conocimiento está organizado en leyes, teorías y conceptos; una gran cantidad de conceptos sin una teoría que los organice no sirve como conocimiento para ser utilizado. Por otra parte, las leyes (aun aquellas que no son consideradas universales) permiten establecer relaciones operativas válidas entre los diferentes conceptos, y en el caso de las experiencias, fundamentar la obtención de conclusiones en el contexto de la teoría en la cual se enmarcan. Entre estos conceptos, considerados clave y unificadores en la actualidad, está el de “campo”, y en particular para este estudio, una restricción al “campo uniforme”; otro concepto clave es el de “movimiento”. Independientemente de estar en presencia de un campo gravitacional uniforme, eléctrico uniforme o magnético uniforme, la característica de los mismos hace que la descripción e interpretación del movimiento, bajo el modelo de cuerpo puntual, sea semejante. Por lo tanto, es factible poder identificar cuáles son los posibles conceptos en acto en los alumnos, relativos al movimiento de cargas en campos uniformes, y sus representaciones. Asimismo conocer de qué manera éstos se modifican con la intermediación de situaciones diversas. Esta comprensión aportará conocimiento que

permita elaborar estrategias de enseñanza tendientes a que el alumnado se apropie del marco conceptual de la disciplina en el Nivel Superior de enseñanza.

1.2. Justificación y estado actual de conocimiento sobre el tema:

Cuando el docente se ocupa de indagar respecto del aprendizaje de las Ciencias en el Nivel Superior, y en particular de la Física, encuentra que diferentes autores han señalado la existencia de dificultades por parte de los estudiantes para aprender conceptos físicos básicos (Moreira, 2003; Llancaqueo, Caballero & Moreira, 2003; Cudmani, Pessa & Salinas, 2000). La enseñanza y el aprendizaje del movimiento cargas en campos eléctricos y magnéticos presenta obstáculos, los cuales se evidencian, entre otros aspectos por: dificultad de los alumnos para modelizar las situaciones relacionadas al tema, escasa capacidad de relacionar los fenómenos estudiados en dos campos conceptuales diferentes (la mecánica y el electromagnetismo) mediante la aplicación de leyes generales de la Física, y la pobreza argumentativa al momento de dar cuenta de los razonamientos. Por otra parte, en general los alumnos adquieren habilidades mecánicas en la resolución de ejercicios de movimiento de proyectiles (movimiento de cuerpos en campos gravitatorios) al estudiar Mecánica, pero no son capaces de relacionar de manera autónoma estas destrezas adquiridas con el estudio de movimiento de cargas en campos uniformes, al estudiar Electromagnetismo.

Entre las dificultades relativas al movimiento, se resaltan, por un lado las ideas previas de los alumnos (que conforman parte de los denominados invariantes operatorios en la Teoría de los campos conceptuales de Vergnaud), muchas veces incorrectas y surgidas normalmente de las experiencias cotidianas, que son muy persistentes y difíciles de modificar aún con instrucción educativa (Carrascosa Alís, 2005; Santos Benito, 2003; Periago & Bohigas, 2005). Por otro

lado, el aprendizaje de fenómenos vinculados al movimiento en campos, involucra las dificultades específicas de la comprensión del concepto de campo -como conocimientos e interpretaciones del álgebra vectorial, conocimiento de funciones, representaciones gráficas y simbólicas- (Alzugaray de la Iglesia, 2009; Llancaqueo et al., 2003).

Sin embargo, es escasa la investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje del movimiento de cargas en campos electromagnéticos uniformes. Al respecto se menciona el trabajo de Giacosa, Giorgi & Concari (2008) que informa sobre un estudio relacionado con la enseñanza de los principios de funcionamiento de equipos de difícil acceso como son los espectrómetros de masa. Las autoras diseñaron actividades haciendo uso de simuladores de acceso libre que fueron evaluados críticamente en una instancia previa a su implementación, y la experiencia áulica permitió que los alumnos diferenciaron espectrómetros, al tiempo de promoverse la comprensión de los principios físicos que los sustentan. En tal sentido, la insuficiente bibliografía disponible sobre las posibles dificultades de la enseñanza del tema motiva, entre otros aspectos, la presente investigación.

Así, reconociendo las dificultades del aprendizaje del tema por parte de los alumnos, la enseñanza del movimiento de cargas en campos electromagnéticos uniformes requiere el diseño de estrategias didácticas que provean de una diversidad de situaciones que permitan acercar al alumno distintos aspectos del concepto, al tiempo de proporcionar elementos que lleven a modificar su estructura conceptual. Muchos investigadores han formulado sugerencias para mejorar el aprendizaje en diversos campos de la Física (Martín & Solbes, 2001; Stipcih, 2007; Bohigas & Periago, 2010). Entre las sugerencias para ofrecer una propuesta superadora de la enseñanza de esta Ciencia está el uso de nuevos entornos de aprendizaje (Ferreira & Gonzalez, E. 2000; García Barneto & Gil Martín, 2006; Martinho & Pombo, 2009; Giacosa

et al., 2008) y, en tal sentido, las TIC podrían constituirse en una herramienta útil para la enseñanza.

Desde la década de los '90 se encuentran trabajos de investigación que indagan sobre la potencialidad del uso de simulaciones computacionales en la enseñanza, en particular, de la Física. Al efecto podemos mencionar la simulación de movimiento en medios resistivos (Martinez-Jimenez, Leon Alvarez, Pontes Pedrajas, 1995) como un ejemplo de incipiente aplicación concreta del uso de las computadoras; mientras que Kofman (2000) avanza en la construcción teórica en tanto organiza actividades mediadas por el ordenador que complementan las actividades tradicionales y reporta una *“mayor comprensión de la función de los modelos físicos y matemáticos utilizados”* así como un fuerte factor motivacional para los alumnos. También este autor caracteriza la potencialidad y las posibles dificultades del uso de software en la clase de Física. Mientras que Otero, Greca & Lang (2003) señalan que no se encontraron diferencias significativas entre el rendimiento medio del grupo que trabajó con estas tecnologías (con énfasis en recursos visuales) y el grupo que trabajó de manera tradicional, Martinho & Pombo (2009) concluyeron de su indagación mediante estudio de caso que el uso de estrategias mediadas por TIC brinda resultados positivos en términos de comportamiento, motivación, aprovechamiento y adquisición de competencias tecnológicas y actitudinales. En el mismo sentido, Giuliano & Sacerdoti (2008) en un análisis tanto cualitativo como cuantitativo vinculado al uso de TIC realizado con ingresantes a las carreras de Ingeniería, concluyen que se observaron aprendizajes en aquellos alumnos que utilizaron efectivamente los applets. Análogamente Giacosa et al.(2008) destacan la potencialidad de los simuladores para la enseñanza de los principios de funcionamiento de equipos de difícil acceso como son los espectrómetros de masa.

De lo descrito anteriormente, se puede concluir que el uso de TIC en educación es un tema que se está investigando desde hace varios años, en particular en la enseñanza de la Física en el marco de las Ciencias Naturales; algunos de estos investigadores no dudan en afirmar que *“en general el proceso de incorporación de las NTIC al ámbito educativo y, en particular, a la enseñanza de las ciencias ha sido poco estudiado”* (García Barneto et al., 2006).

Precisamente, desde el gobierno nacional argentino, se busca la implementación de las TIC en las escuelas mediante programas como “Conectar Igualdad”¹ reconociendo de este modo la necesidad imperiosa de dotar a los alumnos de herramientas de aprendizaje que involucren la potencialidad de la informática y de la web, al tiempo de lograr la alfabetización científica tan declarada. En la actualidad, las políticas educativas argentinas están impulsando la formación docente en el uso de estas tecnologías, con capacitaciones específicas² que tienen entre sus fines que los docentes participantes *“diseñen propuestas de enseñanza orientadas a la comprensión utilizando tecnologías de la información”*. Para afrontar las exigencias educativas actuales se requiere la producción de recursos educativos mediante el uso de tecnología informatizada, como la que se efectiviza en esta propuesta de investigación.

En síntesis, numerosas propuestas de enseñanza en la actualidad están pregonando las virtudes de estas tecnologías, en todo el mundo y en particular en nuestro país (Martinho, 2009; Hraste et al., 2008; García Barneto, 2005, 2006; Maggio, 2000; Kofman, H. 2000; Giacosa, 2008; Giuliano, 2008). No obstante, se considera que la incorporación de las TIC en las aulas ha de partir de la determinación de los docentes, pues en caso contrario no cumpliría su rol como facilitador del acceso o mediador del conocimiento. Así, no se pueden ignorar

1 <http://conectarigualdad.com.ar/2010>

2 http://red.infed.edu.ar/formacion_ver.php?id=8

estas nuevas tecnologías, si lo que se pretende, como docentes, es que los alumnos logren apropiarse de conceptos científicos considerados clave de la Física, en un esfuerzo por incorporar a sus estructuras cognitivas los nuevos conceptos, o de reorganizar los ya existentes, siempre buscando comprender fenómenos físicos y los principios científicos que los explican, y con ello el desarrollo cognitivo de los ciudadanos. De allí la importancia de poder monitorear las posibles transformaciones en los significados construidos por los alumnos y sus representaciones, en distintos momentos del proceso de aprendizaje, en los cuales se han incorporado como recursos las TIC.

Por otra parte, para contar con un marco teórico que sostenga esta investigación se empleará la Teoría de los Campos Conceptuales de Gerard Vergnaud (1990) como referente teórico. Entre los primeros trabajos que se encuentran tomando como referente teórico la Teoría de Vergnaud está el de Moreira, M. (2002), quien hace una presentación y defensa de la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud como referente para el estudio de la conceptualización en Física. Llancaqueo et al. (2003), también trabajando con alumnos de nivel superior, exploran los vínculos entre la estructura cognitiva de los estudiantes y la estructura del concepto científico, y describen niveles de conceptualización del concepto; los resultados confirman potencialidades de la teoría para abordar estos vínculos, que se manifiestan en el uso de representaciones simbólicas y una explicitación parcial de significados, que dan forma a invariantes operatorios que los estudiantes usan para enfrentar situaciones y problemas que demandan una conceptualización científica aceptable. En la misma línea de investigación, y vinculados a la enseñanza en el Nivel Superior, se encuentran los trabajos de Covalada, Moreira & Caballero (2005) realizado con alumnos universitarios y con conceptos de movimiento y termodinámica; Escudero, González & Jaime (2005)

también trabajan desde este referente teórico en el campo conceptual de la Mecánica y elaboran categorías para intentar explicar las representaciones mentales de los alumnos; Catalán, Caballero & Moreira (2010) indagan las dificultades de conceptualización en el campo conceptual del electromagnetismo tomando como referente teórico la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud. También se ha estudiado la conceptualización por parte de alumnos de secundaria, usando la Teoría de Vergnaud, en temas de física básica, (Stipcich, Moreira & Caballero, 2007; Escudero, Moreira & Caballero, 2003), utilizando diversas metodologías de investigación, como por ejemplo el análisis conversacional. Cabe mencionar el trabajo de Lombardi, Caballero & Moreira (2010) que centra su análisis en las representaciones pictóricas, mientras que la investigación de Alzugaray de la Iglesia (2009) utiliza como instrumentos para indagar la conceptualización de los alumnos en resolución de problemas en Física Eléctrica, enunciados cuali-cuantitativos, con o sin datos numéricos. Por tanto, la Teoría de Vergnaud se presenta como una teoría cognitiva, que permitiría indagar sobre la conceptualización de los alumnos del Nivel Superior en un campo conceptual crucial y poco explorado, cual es el del movimiento de cargas en campos electromagnéticos uniformes.

CAPÍTULO 2: Marco Teórico

En este Capítulo se revisan los antecedentes teóricos encontrados vinculados al tema de investigación. Por la naturaleza de este trabajo, el marco teórico comprende tres dimensiones básicas en torno a los cuales se organizará el mismo: “Las TIC y la enseñanza de la Física”; “La Teoría de los campos conceptuales”, y “El movimiento de cargas en campos electromagnéticos uniformes”.

2.1. Las TIC y la enseñanza de la Física:

Entre las TIC (Tecnologías de la Información y la comunicación, también indicadas NTIC) utilizables en el aula, se encuentran los applets, los cuales son programas computacionales en general de uso libre y de acceso en la web, que, aplicados a la enseñanza de la Física simulan el comportamiento de un fenómeno o proceso físico mediante la modelización (Bohigas et al., 2003). Los Fislets, applets de Física, son applets de Java pequeños y flexibles que pueden ser incluidos en documentos distribuidos a través de la World Wide Web y utilizados como eficaz soporte pedagógico para la enseñanza de la Física (Esquembre, Wolfgang y Belloni, 2004). Estos applets se constituyen en el centro de los que se llamarán en este trabajo “laboratorios virtuales”, pues, ya sea que suministren datos numéricos o información de tipo pictórica (gráficos de funciones, esquemas animados, esquemas rígidos) conforman los “resultados” de un experimento que se realiza de manera virtual, y en el cual el usuario puede manipular distintos parámetros.

En particular, la aplicación de las TIC en la enseñanza de la Física se corresponde, estrechamente, con el uso de estas herramientas para simular fenómenos de difícil (o

imposible) realización en el laboratorio, o para simular aquéllos que, si bien pueden realizarse en el laboratorio, el control de múltiples variables dificulta la obtención de conclusiones por parte del estudiante.

En el marco de la construcción de modelos conceptuales, el uso de simuladores virtuales (concebidos como ejemplos de TIC) para indagar el comportamiento de fenómenos difíciles o imposibles de cuantificar y controlar en el laboratorio, puede brindar “situaciones” y constituirse en una herramienta valiosa para construir significados. Giacosa et al. (2008) expone con claridad *“las TICs, entendidas como recursos de nuestra cultura, instrumentos de mediación y herramientas cognitivas, ejercen actualmente una influencia cada vez mayor en la enseñanza formal”* (p.2).

Entre las ventajas del uso de estas TIC (Lucero, 2000; Kofman, 2004) se encuentran:

- Permiten reproducir un fenómeno físico difícilmente observable y muestran en diferentes lenguajes (gráficos y numéricos, en general) los diferentes parámetros y variables involucrados.
- Favorecen la elaboración de conjeturas y su validación, en tanto el alumno puede cambiar los valores de las variables y contrastar conjeturas con los resultados mostrados por el simulador.
- Permiten explorar la relación entre la teoría y los ejercicios de lápiz y papel.
- Favorecen la cooperación entre los alumnos, lo cual resulta enriquecedor al momento de elaborar argumentaciones.
- Resultan fuertemente motivadores para los estudiantes, habituados al uso de la PC en la vida diaria con fines lúdicos.

Sin embargo, para que estos recursos virtuales realmente impacten de manera positiva en el aprendizaje del alumno, debe garantizarse:

- La accesibilidad al mismo en todo momento (aspecto complicado si se requiere la conexión a Internet de modo permanente).
- El manejo básico por parte del alumno de uso de las herramientas informáticas.
- La adecuada mediación docente que garantice la significación de contenidos.

Este último aspecto es esencial al momento de decidir, por parte del docente, la realización de un laboratorio virtual utilizando un simulador, pues si bien ofrecen un tratamiento alternativo al fenómeno que resulta interesante para elaborar y probar conjeturas tanto cualitativas como cuantitativas, deberá ser acompañado por indicaciones muy precisas del docente para optimizar el uso del recurso. Puesto que los simuladores permiten al alumno experimentar con la posibilidad de realizar cambios de variables y explorar sus conclusiones provisionales, se constituyen en un recurso eficaz para el aprendizaje no memorístico ni repetitivo, ya que la respuesta (brindada rápidamente por el simulador) se encuadra en un modelo teórico (el mismo sustentado en la clase) que le permite al estudiante corroborar los comportamientos supuestos. Por lo tanto, se resalta la potencialidad de este recurso en la adquisición no sólo de conceptos, sino de procedimientos y actitudes inherentes a las ciencias (Giuliano et al., 2009).

Por lo antes expuesto, estas nuevas tecnologías por sí solas no mejoran en forma automática el modo de educar a nuestros estudiantes, ni los prepara mejor para enfrentar los desafíos del mundo actual (Alfonso, 2004). Son sólo una herramienta de la que dispone el docente.

2.2. La Teoría de los campos conceptuales:

Concebido el conocimiento como proceso de adaptación (Vergnaud, 1990), el conocimiento científico se construye. A este conocimiento científico se lo considera organizado en **campos**

conceptuales (los cuales se conciben como un conjunto de problemas y situaciones), de los que forman parte conceptos, representaciones simbólicas, operaciones del pensamiento y procedimientos. La Teoría de los campos conceptuales de Gerard Vergnaud es una teoría Psicológica que parte de la premisa que el conocimiento está organizado en grandes campos conceptuales. En el caso de la Física clásica se pueden citar los campos conceptuales del Electromagnetismo, la Mecánica, la Termodinámica. El objetivo de la teoría es propiciar una estructura para la investigación sobre actividades cognitivas complejas, en especial el aprendizaje del conocimiento científico (Llancaqueo et al., 2003).

Para Vergnaud (1990) el centro del desarrollo cognitivo es la conceptualización, la cual es específica del contenido y tendrá diferentes grados de dificultad y tiempos de apropiación para diferentes campos del saber. Caballero Sahelices (2005) expresó:

“[...] La teoría de los campos conceptuales es una teoría compleja, ya que envuelve la complejidad inherente a la necesidad de abarcar, desde una misma perspectiva teórica, todo el desarrollo de situaciones progresivamente dominadas, los conceptos y teoremas necesarios para operar eficientemente en las situaciones, y las palabras y símbolos utilizados para representar eficazmente esos conceptos, de acuerdo con el desarrollo cognitivo del individuo” (p. 52)

Desde el punto de vista del aprendizaje en el marco de la Teoría de los campos conceptuales, las **situaciones** conforman los campos conceptuales, y pueden pensarse como una combinación de tareas y problemas; mientras que el conocimiento adquiere sentido como resultado de la interacción entre la situación presentada y los sistemas de representaciones de

que se disponga. Como ejemplos de situaciones se pueden mencionar: la resolución de ejercicios, la interpretación de gráficos, la elaboración de conjeturas, la resolución de problemas.

El **esquema mental** del alumno se reconstruye a partir de la interacción entre la situación y la representación que hace de la misma (condicionada a sus conocimientos, capacidad de vinculación con conocimientos anteriores, habilidades representación, etc.). Se puede considerar que diferentes elementos permiten organizar el esquema del alumno: **objetivos** y **anticipaciones** (el esquema permite reconocer el objetivo de las actividades, ver que se espera); las **reglas de acción** (formuladas a través de condicionales que le permiten anticipar respuestas a partir de la información identificada, dadas en la forma “*Sí... entonces...*” son las que dan continuidad al proceso de transformación de lo real para poder lograr una conclusión); **invariantes operatorios** (formados por la base conceptual que posee el sujeto, constituidos por *conceptos* y *teoremas*, son los que permiten seleccionar la información relevante y los criterios para transformarla, seleccionando las reglas de acción más adecuadas para lograr una interpretación final); y la **posibilidad de inferencia** (es decir el conjunto de razonamientos que es capaz de formular el alumno, están en su esquema, y le permiten anticiparse desde una actividad concreta para elaborar una solución o conclusiones).

Los **invariantes operatorios (IO)** son fuertemente implícitos y forman parte del esquema mental del alumno. Estos invariantes operatorios, constituidos por **conceptos en acción** (o conceptos-en-acto) y **teoremas en acción** (o teoremas-en-acto), considerados como **conocimiento en acción**, serán en esta investigación el “objeto de estudio”, y por lo tanto las **situaciones** diseñadas intencionalmente por el docente han de permitir evidenciar la mayor cantidad y diversidad de estos conocimientos en acto, de manera que el “mapeo” de las

representaciones que se haga de los alumnos, sobre el concepto en particular, sea lo más cercano posible al real.

Los **conceptos en acción** son objetos, atributos, relaciones, considerados como fundamentales o muy relevantes al momento de dar explicaciones; en tanto los **teoremas en acción** son propiedades consideradas como verdaderas sobre un fenómeno o hecho; estos teoremas son muy fuertes en el sentido que su validez es indiscutida por el alumno y muchas veces, surgen de la propia experiencia cotidiana siendo resistentes a la instrucción, en tanto la misma no pruebe su falibilidad y permita la sustitución por nuevos teoremas.

Desde la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, un **concepto** pueden definirse como un triplete formado por las **situaciones** que le dan sentido, los **invariantes operatorios** que permiten la operacionalidad del esquema del alumno, y las **representaciones** o formas de lenguaje que permiten representar simbólicamente el concepto: $C = \{S, IO, R\}$. Las situaciones (S) corresponden a la realidad, mientras que los invariantes operatorios (IO) y su representación (R) son aspectos de pensamiento (Llancaqueo et al., 2003). El concepto va construyéndose conforme el individuo le asigna significados, los cuales deberán hacerse explícitos mediante las representaciones; esta asignación de significados se logra mediante la realización de tareas (entendidas siempre como conjunto de situaciones y problemas).

En el presente estudio, y adhiriendo a la organización propuesta por Llancaqueo (2006) para indagar sobre el concepto de “campo”, el concepto científico a investigar, correspondiente al campo conceptual del movimiento de cargas en campos, se puede ver como $C_{\text{movimiento}} = \{S, IO, R\}$, entendiendo por:

S: conjunto de situaciones (fenómenos – problemas – ejercicios) físicas que se le presentarán al alumno de manera intencional. Serán las que darán sentido al concepto, el referente. Este conjunto estará conformado por: ejemplos de movimiento de cuerpos puntuales en las cercanías de la superficie de la Tierra (movimiento de proyectiles); problemas de interacción de cargas con campos eléctricos y magnéticos uniformes; simulaciones de movimientos de cargas en campos. Se representará $S = \{FFyPF\}$, donde se indica FF al conjunto de fenómenos físicos, y PF al conjunto de los problemas físicos.

2.3. El movimiento de cargas en campos electromagnéticos uniformes:

Para describir el movimiento de un cuerpo en un campo desde una teoría clásica –no relativista–, es esencial identificar las fuerzas que actúan sobre este cuerpo, para, posteriormente formular la ecuación diferencial de movimiento –segunda ley de Newton– y aplicando condiciones iniciales, obtener las soluciones particulares que caracterizarán al movimiento futuro del cuerpo, en tanto se mantengan las condiciones del mismo.

Cuando se hace referencia al movimiento de cuerpos en campos, se ha de identificar como una de las fuerzas necesarias para plantear la ecuación de movimiento, la que el campo ejerce sobre el cuerpo. Si en particular se está en presencia de campos uniformes, estas fuerzas serán uniformes en toda una zona o región del espacio, es decir no variarán con la posición –pudiendo sí hacerlo en el tiempo–. Puesto que la interacción electromagnética es mucho más intensa que la gravitacional, en presencia de campos eléctricos y/o magnéticos la fuerza gravitacional sobre los cuerpos en general puede ignorarse, de modo que la descripción del movimiento es la de un cuerpo en un campo eléctrico y/o magnético únicamente.

Dado que el campo eléctrico y el magnético actúan ejerciendo fuerzas sobre cuerpos cargados eléctricamente, todo el tratamiento del estudio de movimiento de cuerpos en estos campos corresponderá a la discusión de cuerpos con carga eléctrica neta.

Como punto de partida para el presente análisis se destaca que la bibliografía básica, correspondiente a los contenidos de los cursos básicos de electromagnetismo, considera que el cuerpo cargado puede estudiarse desde el modelo de carga puntual, lo cual significa: su tamaño es despreciable frente a las demás dimensiones del espacio, y sus efectos electromagnéticos son también despreciables frente a los campos preexistentes en la región bajo estudio. Hecha esta consideración, esencial para la presente descripción, se caracterizará el movimiento de esta carga puntual en campos eléctricos y magnéticos uniformes (aceptándose que son también constantes en el tiempo).

En primer lugar, si lo que se tiene es un campo eléctrico uniforme, es decir constante en dirección y sentido, una carga eléctrica en este campo experimentará una fuerza dada por la expresión $\vec{F} = q\vec{E}$, siendo q la magnitud de la carga y \vec{E} el campo eléctrico (con el mismo valor en un instante dado en todos los puntos de una cierta región del espacio). Este campo uniforme puede visualizarse mediante líneas de campo paralelas y equidistantes, siendo el vector campo eléctrico \vec{E} tangente a estas líneas en cualquier punto del espacio. Si esta fuerza eléctrica es la única que actúa sobre la carga q , entonces la segunda ley de Newton aplicada a esta carga permite plantear la ecuación diferencial de movimiento

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \frac{q\vec{E}}{m},$$
 de cuya solución se desprende que el movimiento de la carga será análogo al

de un proyectil lanzado en un campo gravitacional uniforme (Serway, 1993). En este caso la

aceleración de la carga dependerá de la relación carga/masa y del valor de campo eléctrico, siendo su dirección la del campo y su sentido el del campo si la carga es positiva, u opuesto en caso contrario.

Puesto que la aceleración es constante, para la descripción del movimiento de la carga pueden emplearse todas las relaciones de cinemática conocidas por el alumno, de lo que se desprende, entre otras, que el movimiento puede estudiarse mediante la superposición de dos movimientos: uno en el sentido de las líneas de campo y otro en dirección perpendicular; que la trayectoria de la carga es una parábola cuya concavidad depende del signo de la carga y del sentido del campo eléctrico (es decir de la aceleración); que esta trayectoria parabólica se mantendrá en tanto la carga se mueva en la región del campo, pues cuando el campo se anula el movimiento es rectilíneo uniforme. Como ejemplo de lo anterior, se presenta la figura siguiente:

Figura 1: Trayectoria de la carga en Campo eléctrico uniforme (Serway, 1993)

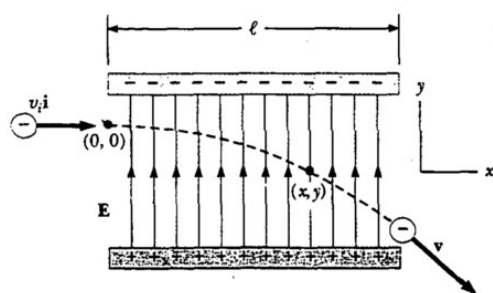


Figura 23.25 Un electrón se lanza horizontalmente en un campo eléctrico uniforme producido por dos placas cargadas. El electrón experimenta una aceleración descendente (opuesta a E) y su movimiento es parabólico mientras está entre las placas.

En segundo lugar, si en una región del espacio actúa únicamente un campo magnético uniforme, \vec{B} , una carga q que se mueva en dicho campo con velocidad \vec{v} experimentará una fuerza dada por $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$. Esta fuerza magnética no realiza trabajo cuando una carga

se mueve en un campo magnético estacionario, puesto que es siempre perpendicular al desplazamiento de la carga. En particular, si la carga se mueve en dirección perpendicular a un campo magnético uniforme, la misma experimentará una fuerza de tipo centrípeta que la obligará a girar en un plano perpendicular al campo, en una trayectoria circular de radio $R =$

$$\frac{mv}{|q|B}$$

, donde v y B indican los módulos de los vectores velocidad y campo magnético,

respectivamente. Este movimiento es bien diferente al clásico movimiento de proyectiles conocido por los alumnos, por lo cual deben resaltarse las características de la interacción magnética. La figura siguiente que ilustra lo dicho (Serway, op.cit.)

Figura 2: Trayectoria de la carga en Campo magnético uniforme (Serway, 1993)

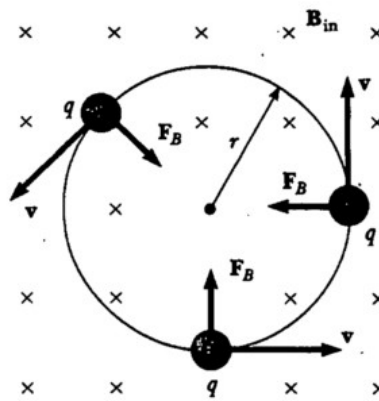


Figura 29.17 Cuando la velocidad de una partícula cargada es perpendicular a un campo magnético uniforme, la partícula se mueve en una trayectoria circular en un plano perpendicular a B . La fuerza magnética F_B que actúa sobre la carga siempre está dirigida hacia el centro del círculo.

Para concluir, si la carga se mueve en presencia de ambos campos, eléctricos y magnéticos uniformes, la fuerza que experimentará será la fuerza de Lorentz, $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$ por lo

que los efectos de ambos campos se superpondrán para dar cuenta del movimiento futuro del cuerpo puntual cargado. Como ejemplo de aplicación de esta situación se considera el selector de velocidades en un espectrómetro de masas (Serway, op.cit.).

Figura 3: Trayectoria de la carga en campos eléctrico y magnético uniformes (Serway, 1993)

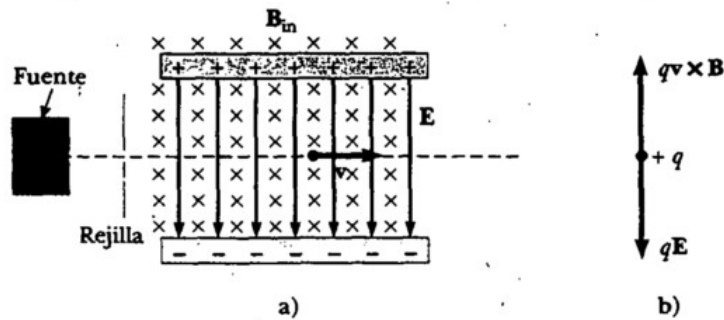


Figura 29.22 a) Un selector de velocidad. Cuando una partícula cargada positivamente está en presencia de un campo magnético dirigido hacia la página y un campo eléctrico dirigido hacia abajo, experimenta una fuerza eléctrica descendente qE y una fuerza magnética ascendente $qv \times B$. b) Cuando dichas fuerzas se balancean, la partícula se mueve en una línea horizontal a través de los campos.

CAPÍTULO 3: Desarrollo

En este capítulo se presentan las preguntas de investigación que se elaboraron luego del análisis de los antecedentes teóricos presentados en capítulo anterior, así como de la problemática a abordar. También se plantean los objetivos de la investigación y la hipótesis que se desprendiera de las preguntas centrales. Asimismo, se presenta la metodología, con una descripción de los instrumentos empleados. Éstos incluyen diversas situaciones que involucran el uso de las TIC y que fueron elaborados para indagar la construcción de significados del campo conceptual del electromagnetismo desde la Teoría de Vergnaud. Los datos obtenidos y el análisis preliminar de los mismos constituyen la última parte de este Capítulo.

3.1. Pregunta central, objetivos, hipótesis.

3.1.1. Pregunta central.

Desde lo expuesto en el planteamiento del problema, en esta investigación se pretende dar respuesta a la pregunta:

¿Cómo incide el uso de TIC en el conocimiento en acto de los alumnos, al resolver problemas relacionados al movimiento de cuerpos en campos eléctricos y magnéticos uniformes?

Para responder a esta cuestión exploramos el posible conocimiento en acto que poseen los alumnos en el campo del electromagnetismo, y sus representaciones, antes y después del uso de estrategias didácticas centradas en las TIC.

3.1.2. Objetivo General

Explorar la influencia del uso de TIC en el proceso de conceptualización del movimiento de cargas puntuales en campos uniformes, en el marco de la teoría de los campos conceptuales de G. Vergnaud.

3.1.3. Objetivos específicos.

- 1) Identificar y caracterizar los posibles invariantes operatorios que utilizan los alumnos en diferentes tareas vinculadas al movimiento de cargas puntuales en campos uniformes antes y después de usar recursos virtuales.
- 2) Identificar las representaciones que emplean los alumnos al resolver diferentes situaciones problemáticas, antes y después de realizar experiencias mediadas por TIC.

3.1.4. Hipótesis orientadora.

Desde la Teoría de los Campos conceptuales adoptada como marco teórico para esta investigación, se asume que cuando al alumno se le presenta una tarea, para resolverla debe hacer uso de sus conocimientos en acto o invariantes operatorios, los cuales forman parte de su esquema conceptual. Los conceptos empleados por el alumnado al enfrentarse a una diversidad de situaciones se evidenciarán mediante representaciones diferentes, con especial dominio de las verbales, algebraicas y simbólicas. Estas representaciones darán cuenta de los invariantes operatorios de los que los alumnos dispongan en sus esquemas mentales. Se espera que conforme aumente la interacción entre situaciones y esquema conceptual, la disponibilidad de invariantes operatorios –propios del marco conceptual- del alumno será cada vez mayor, lo que se evidenciará en la riqueza de las representaciones (en tanto variedad y entre las mismas) para dar cuenta del dominio progresivo del concepto. Estas

representaciones, que se podrán observar y dar cuenta mediante las producciones escritas del alumno, serán cada vez más cercanas a las aceptadas por la comunidad científica como correspondientes al “conocimiento científico”, y mostrarán mayor coherencia entre sí.

Estas representaciones simbólicas, pictóricas y verbales corresponden a los significados del concepto “movimiento de cargas en campos” que el alumno ha construido, y que puede coincidir totalmente, de manera parcial o no coincidir con el significado científico.

3.2. Metodología:

3.2.1. La población y el contexto, justificación del diseño.

En esta investigación se realizó un estudio de tipo exploratorio con métodos cualitativos. Esta elección se basó en la doble participación del investigador: como docente y como investigador en la elaboración de los materiales y en el trabajo con los alumnos. A fin de limitar la subjetividad interpretativa los instrumentos que se emplearon para la obtención de datos fueron del tipo “encuestas”, esto es: cuestionarios escritos e informes. Otro motivo para optar por esta modalidad investigativa es la no existencia de estudios anteriores que ofrecieran hipótesis a contrastar, en la necesidad de realizar un análisis exhaustivo de los documentos producidos por los alumnos seleccionados y elaborar y re-elaborar categorías provisionales de análisis. En este marco de observación participante, se recurrió al estudio de casos para poder elaborar posibles hipótesis y categorías de análisis, las cuales se fueron reconstruyendo conforme la investigación avanzaba. De esta manera se espera poder dar cuenta de los objetivos de la investigación mediante la elaboración de respuestas provisionales y condicionadas al grupo en estudio.

Contexto. Caracterización de la población:

La **población** estuvo conformada por alumnos de segundo año de las carreras de Ingeniería (grupo F), y alumnos de cuarto año de Profesorado (grupo P), ambos grupos de la asignatura Física II con contenidos de Electromagnetismo elemental de dos Instituciones educativas diferentes.

El primer grupo, (F), fue conformado por una muestra extraída de un curso de 60 alumnos, que asistieron a Física II en el segundo año de sus estudios. Habían cursado previamente Física I, y también Matemática I, Matemática II y Matemática III, ésta última con los contenidos de cálculo multivariado. La Institución educativa en la cual estudian se encuentra en el radio céntrico, y los alumnos, de edades entre 19 y 22 años, procedían tanto de la ciudad como de distritos, y también de otras ciudades y provincias. La Facultad es dependiente de una universidad nacional de gestión estatal y pública.

En cuanto al segundo grupo, (P), consistió en una muestra de los 11 alumnos que cursaban Física II en el cuarto y último año de su carrera. Estos alumnos habían transitado por cursos de Cálculo I y II, también por el estudio de Ecuaciones diferenciales, Cálculo Numérico, Estadística, Geometría y Álgebra vectorial. Habían cursado previamente Física I, con contenidos de Mecánica. Esta población tiene alumnos de edades diferentes (entre 22 y 30 años), variada condición social y residentes en las proximidades de la institución educativa, de gestión estatal y pública, ubicada en el radio céntrico de la ciudad.

Ambos grupos de alumnos tenían acceso a laboratorios de informática, equipados con ordenadores con conexión a Internet, en las mismas Instituciones educativas. Los estudiantes de Profesorado (P) poseían experiencia del uso de simuladores virtuales en las prácticas de

Física del trabajo realizado durante el semestre anterior en la cátedra Física I. En tanto los de Ingeniería (F), si bien no tenían experiencia en el uso de las simulaciones en la Física, estaban familiarizados con el uso de computadoras por el cursado anterior de la asignatura Sistemas de representación, en la que aprendieron a manejar el programa AutoCAD 2007, el que permite realizar diseños en 2D y 3D asistidos por una PC.

La elección de estas Instituciones educativas de Nivel Superior para efectuar el estudio se realizó considerando que la investigadora forma parte del personal docente en ambas Instituciones, lo cual garantizaba la posibilidad de implementación y seguimiento de la estrategia. Ambas instituciones avalaron y propiciaron la implementación de estrategias de enseñanza con el uso de TIC.

En momento posterior a la aplicación de todas las pruebas, se seleccionaron de manera arbitraria 3 alumnos de la Facultad y 3 del Instituto de Profesorado de las poblaciones de origen, para realizar un estudio de casos. El muestreo fue intencional y no aleatorio.

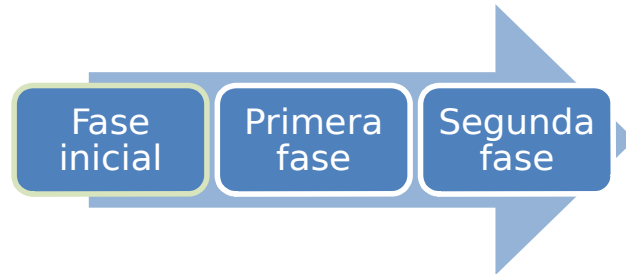
3.2.2. Recolección de datos. Instrumentos.

La recolección de datos mediante la aplicación de los instrumentos acompañó a la **estrategia didáctica**: Todo el curso asistió a las clases usuales de teoría y de práctica y todos los instrumentos se aplicaron a la totalidad de los estudiantes como parte del dictado de la asignatura.

Existió una **fase inicial** consistente en un diagnóstico general de conocimiento. La investigación posterior se dividió en **dos fases**: se estudió el movimiento en campo

electrostático uniforme (en la primera fase) y movimiento en campo magnético uniforme (en la segunda fase).

Figura 4: Las Fases de la investigación



En ambas fases no diagnósticas (Primera y Segunda fase) el recorrido didáctico en etapas -que sustentó los registros de investigación- se muestra en la Figura 5, en tanto en la Tabla 1 se describen brevemente las etapas, sus objetivos y los instrumentos de recolección de datos.

Figura 5: Las Fases y Etapas de la investigación

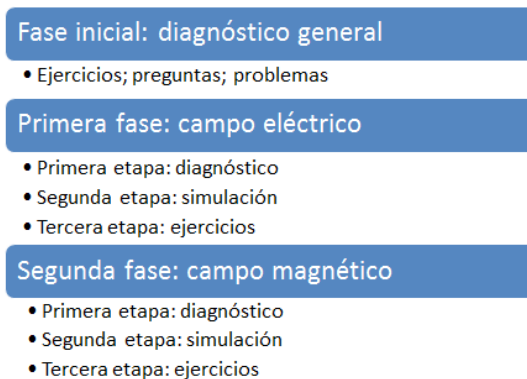


Tabla 1: Organización de las etapas de la investigación

Etapas	Objetivos	instrumento
Primera etapa: Diagnóstico de conocimientos previos.	Identificar los posibles conocimientos en acto vinculados al movimiento de cargas en campos uniformes,	Prueba escrita

	interpretación de trayectorias, descripción en diferentes lenguajes, manejo de herramientas matemáticas.	
Segunda etapa: Realización del laboratorio virtual	Indagar las explicaciones de diferentes situaciones que pueden ser simuladas; registrar las conjeturas y posibles soluciones con el uso del simulador; determinar los posibles conocimientos en acto en los argumentos y explicaciones ofrecidos por los estudiantes.	Informe de laboratorio
Tercera etapa: Problema/cuestionario post laboratorio	Contrastar los posibles cambios en los conocimientos en acto en los tres momentos: diagnóstico-laboratorio-resolución de problema/cuestionario.	Problema/cuestionario escrito

Para la recolección de datos, los registros se tomaron de las respuestas de los estudiantes seleccionados, y se le asignó la siguiente codificación: estudiante, anexo, inciso. Por ejemplo: (F9, anexo 2, 4) indica la respuesta del estudiante F9 (estudiante 9 del grupo de Ingeniería de la Facultad) en el inciso 4 del anexo 2; (P3, anexo 5, c y d) indica la respuesta del estudiante 3 del grupo de Profesorado, correspondientes al anexo 5 y a las consignas c y d.

Los instrumentos

El propósito de los instrumentos diseñados especialmente para esta investigación fue poner al estudiante ante situaciones diferentes de modo que su interacción permitiera construir el concepto de movimiento de cargas en campos eléctricos y magnéticos uniformes. Los instrumentos se redactaron en lenguaje coloquial o natural, simbólico e icónico propio de la Física, de modo que el alumno al interactuar con los mismos tuvo que recurrir, para dar

solución o respuesta, a los invariantes operatorios del concepto físico que posee en los diferentes momentos.

Los instrumentos consistieron en: encuestas semiestructuradas, resolución de ejercicios y problemas e informes de laboratorio.

Puesto que no se contaba con insumos de investigaciones anteriores que permitieran analizar los posibles conocimientos en acto de los estudiantes para el tema en cuestión, se elaboraron instrumentos que presentaran a los alumnos diferentes situaciones. Así, pruebas diagnósticas, ejercicios, prácticos de laboratorio, cuestionarios y problemas se diseñaron desde la experiencia áulica de un curso anterior (mismo docente, diferente grupo de alumnos). Los instrumentos fueron validados internamente en la cátedra, en tanto a: la claridad de los enunciados, la coherencia con los contenidos desarrollados del curso y expectativas generales de logro de los estudiantes en la asignatura, así como por su potencialidad para dar cuenta de los objetivos de esta investigación. Algunos de estos instrumentos consistieron en adaptaciones de ejercicios y/o problemas de uso libre (ver anexos).

Descripción de los instrumentos por fases y etapas.

Fase inicial (diagnóstico general) (Anexo 1)

Este instrumento escrito tuvo por objetivo obtener una caracterización preliminar del grupo seleccionado al inicio del curso de Electromagnetismo. Está conformado por ítems que buscaban indagar sobre: reconocimiento fundamentado de magnitudes escalares y vectoriales; justificar la clasificación; suma de vectores y producto por escalar, en forma analítica; caracterizar el movimiento mediante lenguaje gráfico, lenguaje verbal, lenguaje

simbólico; resolución de ecuaciones algebraicas y trigonométricas; caracterización de campos vectoriales, obtención de valores de función, graficación, cálculo e interpretación de integrales de línea (trabajo); resolución de ejercicio de movimiento de proyectiles en campo gravitacional uniforme.

Primera fase. Primera etapa (Anexo 2)

Este instrumento escrito se presentó a los alumnos antes del estudio formal del movimiento de cargas en campo eléctrico uniforme, y su objetivo era determinar los posibles conocimientos en acto vinculados al movimiento de cargas en campos uniformes, interpretación de trayectorias, descripción en diferentes lenguajes y manejo de herramientas matemáticas, en una situación correspondiente al campo de la Mecánica (lanzamiento de proyectiles en campo gravitacional uniforme).

Primera fase. Segunda etapa (Anexo 3)

Este instrumento consistió en el diseño de una actividad de laboratorio virtual, y se obtuvo como producción de los alumnos el informe del trabajo de laboratorio asistido por un software de uso libre y gratuito, en el Curso [Fislets](#): Enseñanza de Física con material interactivo, de Esquembre, Martín, Christian y Belloni, disponible en <http://www.um.es/fem/Fislets/CD/II4Electromagnetismo/II19CampoElectrico/default.html>.

Este laboratorio virtual se implementó luego de desarrollar contenidos teóricos y realizar ejercicios de lápiz y papel. Se llevó a cabo en el laboratorio de informática de la Institución educativa en la que se desarrollaron las clases.

Esta situación buscó poner a los alumnos ante casos diferentes, mediados por el ordenador, que los llevaran a: anticipar comportamientos, validar hipótesis, formular argumentos y conjeturas relativas al movimiento de partículas en campos eléctricos uniformes. Así, al indagar sobre las explicaciones, conjeturas y posibles soluciones ofrecidas por los estudiantes se pretendió determinar el posible “conocimiento en acto” puesto en juego en esta etapa en los argumentos y explicaciones.

Primera fase. Tercera etapa (Anexo 4)

Este instrumento se aplicó luego del laboratorio virtual, y consistió en un problema el cual requería de interpretación, explicitación de relaciones entre conceptos, fundamentación de respuestas y anticipación de resultados. Con este instrumento finalizaba la recolección de datos de la primera fase, y permitió indagar, desde la Teoría de los campos conceptuales de G. Vergnaud, la evolución del concepto “movimiento de carga en campo eléctrico” conforme el alumno transita por el cursado de la asignatura.

Segunda fase. Primera etapa (Anexo 5)

A modo de situación, se suministró a los alumnos un problema para resolver por escrito luego de presentar contenidos teóricos y prácticos del movimiento de cargas en campo magnético uniforme. En el problema el alumno debió: decidir y justificar movimientos, comparar trayectorias, inferir comportamientos al modificar variables. De las respuestas escritas de los alumnos se realizaron inferencias sobre los posibles conocimientos sobre movimiento de cargas en campo magnético.

Segunda fase. Segunda etapa (Anexo 6)

Este instrumento consistió en una actividad de laboratorio virtual, y se obtuvo como producción de los alumnos el informe del trabajo de laboratorio. El laboratorio virtual se desarrolló en la sala de Informática de la Institución en la cual se dictan las clases. El mismo se realizó luego de haber asistido a clases teóricas y prácticas de lápiz y papel. Para este laboratorio se suministró a los alumnos una guía para analizar el movimiento de cargas en campos magnéticos uniformes, utilizando como recurso un software de uso libre disponible en el Curso de Física con Ordenador, de Ángel Franco García, disponible en: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/mov_campo/mov_campo.htm. Los alumnos debieron: justificar y anticipar movimientos, establecer relaciones entre variables, y emitir conclusiones.

Segunda fase. Tercera etapa (Anexo 7)

Este último instrumento consistió en un problema que se suministró a los alumnos en instancia de evaluación. Los alumnos debieron responder en forma escrita ítems relativos a: inducir la orientación y magnitud del campo magnético a partir de la trayectoria, justificar respuestas desde el marco teórico y predecir comportamientos.

3.3. Los datos

Los datos, según lo indicado en el apartado anterior, se obtuvieron de diferentes producciones escritas que fueron administradas y recogidas conforme avanzaba el cursado de la asignatura. Así, y dada la naturaleza inobservable del conocimiento en acto, el mismo debió inferirse a partir de la interpretación de las respuestas. Este proceso de interpretación fue el más arduo de toda la investigación, dada la cantidad de datos obtenidos, y la necesidad de elaborar las

categorías emergentes. Para la interpretación se construyeron diferentes tablas en las cuales se consignaron absolutamente todas las respuestas del grupo bajo estudio. Posteriormente estas tablas originales fueron reacomodadas a fin de ir determinando el “perfil” del alumno, en búsqueda de las respuestas a las preguntas centrales y los objetivos de la investigación (Anexo 8).

3.3.1. Resultados

3.3.1.1. FASE INICIAL (DIAGNÓSTICO GENERAL)

En general todos los alumnos clasificaron correctamente las magnitudes escalares y vectoriales, y todos pudieron operar analíticamente en operaciones vectoriales básicas de suma y multiplicación por escalar.

Las justificaciones de la selección de escalares o vectores las dieron los alumnos de manera operativa: “*masa: es una propiedad del cuerpo, no depende de su dirección*” (F2, Anexo 1, a), “[*la fuerza*] *es un vector, pueden tener componentes*” (P2, Anexo 1, a), “*fuerza, velocidad, aceleración y posición [...] porque tienen magnitud, dirección y sentido y ambas van a variar según la posición del plano en que se encuentren*” (P10, Anexo 1, a).

En los ítems de caracterización del movimiento mediante diferentes lenguajes (gráfico, verbal y simbólico), los conceptos físicos involucrados mayoritariamente en las explicaciones fueron: velocidad, trayectoria, movimiento, aceleración, desaceleración, caída libre. Al momento de elaborar afirmaciones de conocimiento derivadas de la gráfica y la información verbal, todos los alumnos pudieron realizar enunciados:

“*Su máximo desplazamiento lo tiene en $t = 1$ ” (F4, Anexo 1, c),*

“*Luego de 1 s el movimiento es acelerado*” (F9, Anexo 1, c),

“Su velocidad se hace cero en (1; 2.5)” (P2, Anexo 1, c).

Estos enunciados en general correspondieron a una lectura de la gráfica y posterior identificación de conceptos físicos vinculados a la misma, lo cual da cuenta de posibles invariantes operatorios matemáticos como función, máximo de una función, coordenadas, y de relaciones físicas (por ejemplo: velocidad como pendiente de la tangente a la función posición; concavidad de la gráfica $y(t)$ y aceleración). Algunos alumnos reconocieron un modelo físico: “De (1; 2.5) a (3.2; 0) puede ser caída libre” (P2, Anexo 1, c), “El movimiento se asemeja a un tiro vertical” (F4, Anexo 1, c), “Es MRUV” (F9, Anexo 1, c).

Cuando los alumnos debieron plantear condiciones para dar cuenta de una situación particular de movimiento (Anexo 1, c3: Si desea saber en qué instante el cuerpo A pasó por el origen, ¿qué plantearía y por qué?), algunos (F9 y P10) reconocieron la situación pareciendo disponer de los conceptos y relaciones para decodificar y transformarla en símbolos, pero sólo P10 fundamentó. En tanto los demás alumnos no respondieron (F2) o dieron respuestas ambiguas (F4, P2 y P7 en Anexo 1, c3), “ $Y(t) = 2$ ” (P7, Anexo 1, c3), pareciendo considerar que la representación simbólica/algebraica por sí misma es suficiente.

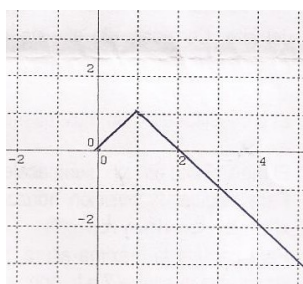
Al seleccionar la expresión matemática que se corresponde con la gráfica y el enunciado verbal dado, todos los alumnos reconocieron la expresión correcta, y al fundamentar su elección surgieron como posibles invariantes operatorios matemáticos para la mayoría de ellos la concavidad y los ceros de la función escalar (correspondientes al campo conceptual del Cálculo). En general todas las fundamentaciones son intramatemáticas, y en ellas identifican correctamente el modelo pero no lo relacionan con el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado,

“Cumple todo lo que las demás no cumplían: $a < 0$, $xv = 1$, $yv = 2.5$ y es cuadrática” (P10, Anexo 1, c3),

“Coinciden las raíces al igual que su concavidad” (F2, Anexo 1, c).

En el ítem correspondiente a la representación de la trayectoria en un plano cartesiano, los alumnos P7 y P10 realizaron la representación correcta interpretando el movimiento unidimensional, no confundiendo la gráfica de la posición en función del tiempo (parábola) con la trayectoria. Este grupo asignó nombre a los ejes (x, y) y los diferencia de (x, t) los cuales corresponden a la función dada originalmente. En tanto a los alumnos F9 y P2 que contestaron incorrectamente representaron la trayectoria en el plano, ya sea con trazos poligonales o con curvas cuadráticas; estos alumnos no logran diferenciar la gráfica de la posición en función del tiempo, de la trayectoria. Esta confusión se evidencia no sólo en el tipo de gráfica plana, como en la asignación de nombres a los ejes coordenados (fundamental para dar interpretación física a la gráfica). A modo ilustrativo:

Figura 6: Trayectoria correspondiente a la función posición $y(t) = 2 + t - 0,5 t^2$ (F9, Anexo 1, c4)

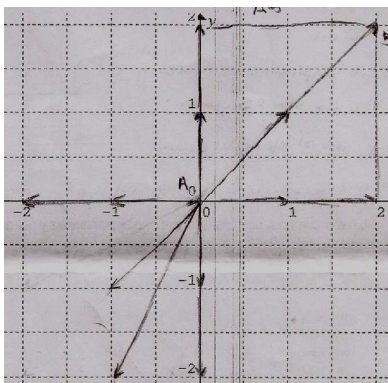


En el trabajo con campos vectoriales al darse la fórmula y pedirse hallar la función en diferentes puntos, lo cual puede responderse completando una tabla, se encuentran dos categorías de alumnos: Los alumnos del grupo CV (Completa correctamente con vectores) y

CEM (Completa con escalar MÓDULO) disponen de los IOM para asignar a cada punto del espacio un vector (el “valor” de la función), esto significa poder identificar a los puntos del plano mediante sus coordenadas, y luego emplear sus valores de manera adecuada para hallar la función en cada punto. En el grupo CEM sólo se encuentra P2, quien además identifica al IOF “fuerza”, y da el valor de la fuerza mediante su módulo. Excepto P2 los demás alumnos se encuentran en el grupo CV.

En la representación gráfica de este campo vectorial, si bien la mayoría de los alumnos dibuja vectores (algunos alumnos no dibujan todos), lo hacen en con origen compartido, y sólo un alumno le “pone nombre” a cada vector, para saber cuál es la correspondencia de esta gráfica con la tabla. La figura siguiente ilustra lo dicho:

Figura 7: Representación del campo vectorial (F4, Anexo 1, fb)



Cuando a los alumnos se les pide calcular el trabajo realizado por esta fuerza y decidir si el campo es o no conservativo (temas estudiados en Física y Matemática con anterioridad), los alumnos mayoritariamente responden desde un modelo de fuerza constante: estos alumnos no terminan de identificar la fuerza como campo vectorial, variable punto a punto (como han hallado en la tabla). Son la mayoría de los alumnos seleccionados (F2, F4, P2 y P7). En tanto

F9 no responde al cálculo del trabajo, pero sí indica sin fundamentar que está en presencia de un campo conservativo. F4 plantea el trabajo de fuerza constante, y recurre al esquema para mostrar las dos trayectorias diferentes y ese esquema es el sustento de su respuesta:

“ $W = Fdsen \theta$ es conservativo ya que el W realizado en la trayectoria AB' y $A'B$ es el mismo” (F4, Anexo 1, fc).

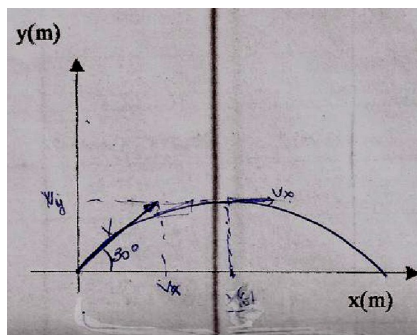
Un único alumno (P10) manifestó la disponibilidad de recursos matemáticos que le permite avanzar en la toma de decisiones:

“ $W = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{x}$ y el campo es conservativo si $\int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{x} = \int_A^C \vec{F} \cdot d\vec{x} + \int_C^B \vec{F} \cdot d\vec{x}$.” (P10,

Anexo 1, fc)

En el ejercicio de movimiento de proyectiles en campo gravitacional uniforme, todos los alumnos completaron la trayectoria correctamente, como se ilustra con la figura siguiente.

Figura 8: Representación trayectoria del proyectil (P7, Anexo 1, g)



Los alumnos del grupo F plantearon correctamente ecuaciones para calcular valores de variables cinemáticas. Los alumnos del grupo P reconocieron en general la descomposición de movimientos en los ejes coordenados, sin embargo no parecen contar con los IOF (mediante relaciones) que les permitan traducir este conocimiento en ecuaciones válidas para estudiar este movimiento. Esa situación se presenta en ecuaciones que no reflejan la

situación, estando en contradicción con lo explicitado respecto al tipo de movimiento en cada dirección. Esta contradicción se muestra en el empleo de ecuaciones de movimiento acelerado, cuando el movimiento es uniforme; o empleando la velocidad inicial (en el plano) para hacer cálculos sobre el movimiento vertical para los alumnos del grupo P. A modo ilustrativo la respuesta del alumno P7:

Figura 9: Respuesta de variables cinemáticas (P7, Anexo 1, g)



Para calcular la posición horizontal debe emplearse la fórmula $x(t)=... x_0 + v_0t + 2at^2$.

3.3.1.2. PRIMERA FASE. PRIMERA PARTE: DIAGNÓSTICO DEL MOVIMIENTO DE PROYECTILES EN CAMPOS GRAVITATORIOS

En este diagnóstico con contenidos correspondientes al movimiento de proyectiles del campo conceptual de la Mecánica, los alumnos **F4** y **P10** identificaron correctamente la gráfica presentada como “*trayectoria*”. El estudiante **F4** no identificó correctamente los ejes coordenados; así para este alumno un posible Teorema en Acto (TA) es “la representación de una parábola indica la trayectoria del proyectil”. Este posible TA también puede inferirse de la respuesta de **F9**, quien expresó que es “*una parábola que representa el movimiento de un proyectil*” (F9, Anexo 2, 1), y ubicó correctamente los ejes coordenados en la gráfica de la trayectoria del proyectil. **P2** y **P7** reconocieron solamente en la representación gráfica del movimiento una *parábola*, sin poder relacionar con el fenómeno físico, pero mientras que **P2** identificó bien los ejes, no lo hizo **P7**: de las respuestas de estos dos estudiantes un posible concepto en acto es el significado matemático de parábola sin evidenciar reconocer

relaciones con el fenómeno físico. El alumno **F2** interpreta la gráfica respondiendo “*representa un movimiento uniformemente variado*” (F2, Anexo 2, 1) sin aclarar más, y sin ubicar nombres a los ejes coordenados, con lo que para este estudiante un posible TA es que la parábola representa un movimiento, y al no indicar los ejes coordenados pareciera identificar los Conceptos “ecuación horaria” con “trayectoria”.

Para la mayoría de los estudiantes los posibles conceptos en acto, mediante significados, necesarios para explicar el movimiento de proyectiles en campos gravitatorios son: aceleración de la gravedad, velocidad de lanzamiento y ángulo. Al jerarquizar factores que condicionen el movimiento, **P7** asignó el primer lugar a la masa (lo cual es incorrecto), mientras que los demás consideraron como relevantes la velocidad o el ángulo de lanzamiento.

Excepto **P10**, los demás alumnos realizaron correctamente las RF (representaciones físicas) pictóricas de la fuerza en diferentes puntos de la trayectoria y algunos las nombraron como vector, mostrando el reconocimiento de los significados de fuerza, gravedad, y las relaciones entre fuerza y trayectoria, y reconociendo el carácter vectorial de la magnitud. El alumno **P10** dibujó la fuerza peso correctamente, pero también un vector en el sentido de la velocidad en los puntos indicados. A modo ilustrativo:

Figura 10: Fuerza que actúa sobre el proyectil (P10, anexo 2, 3)

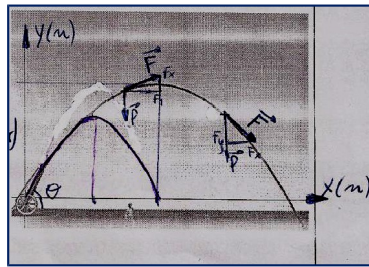
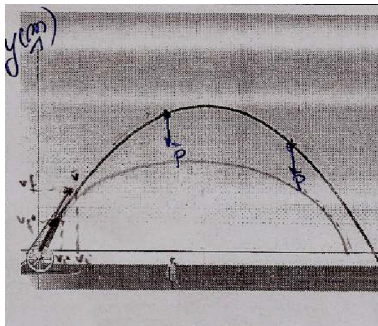


Figura 11: Fuerza que actúa sobre el proyectil (P7, anexo 2, 3)



Todos los alumnos respondieron para qué ángulo el alcance es máximo, aunque justificaron de manera incorrecta:

“Porque las funciones trigonométricas dan su máximo en 45° ” (F9, Anexo 2, 4) y

“ $\tan 45 = 1$ ” (F4, Anexo 2, 4)

o de manera parcialmente correcta:

“Se deduce de la fórmula, porque a igual velocidad inicial la parábola tiene más abertura”

(P10, Anexo 2, 4)

o no justificó (P7).

En la respuesta del alcance mínimo hay menos respuestas correctas: sólo **F2** y **P10** respondieron correctamente y justificaron parcialmente:

“...la trayectoria estaría sólo en el eje y la altura sería máxima...” (P10, Anexo 2, 4)

Estos estudiantes mostraron disponer de la relación y significado de “superposición de movimientos”. **F2** también respondió correctamente:

“Porque $v_x = v \cos \theta = 0$ (F2, Anexo 2, 4).

F9 respondió correctamente como **F2** y **P10**, pero no justificó. Los demás alumnos: **F4** y **P7** respondieron incorrectamente y no justificaron, mientras que **P2** no contestó.

Un posible Teorema en acto, “proporcionalidad entre velocidad y alcance” surge en las respuestas de los estudiantes: Al esbozar la nueva trayectoria cuando la velocidad se reduce a la mitad, todos los alumnos (excepto **P2** que no contestó) graficaron de manera parcialmente correcta, esto es: modificaron la trayectoria disminuyendo el alcance y la altura máxima, pero no de la manera correcta. Los alumnos **F2**, **F4** y **P10** dibujaron mitad de altura y mitad de alcance, con lo que pareciera surgir como posible Teorema en acto para estos estudiantes la *proporcionalidad directa*; para estos alumnos la superposición de movimientos es un concepto parcialmente logrado, por cuanto no pudo ser adecuadamente cuantificado. **F9** y **P7** graficaron reduciendo la altura a la mitad pero no modificaron el alcance, con lo que muestran reconocer la dependencia de la altura máxima con la velocidad de lanzamiento, pero no disponen del concepto de superposición de movimientos para explicar la modificación del alcance.

Al justificar la forma de la gráfica, en particular las “ramas”, **F4**, **F9**, **P2** y **P7** dieron respuestas físicamente correctas, **P10** dio una respuesta matemáticamente correcta, y **F2** dio una respuesta dudosa. Entre las respuestas físicamente correctas, **F4** expresó:

“Porque la función de aceleración es negativa...”(F2, Anexo 2, 6).

“Porque la única fuerza que actúa g haciendo que la trayectoria sea parabólica...” (F4, Anexo 2, 6)

“Porque la fuerza de la gravedad ejerce una fuerza hacia la tierra...” (F9, Anexo 2, 6)

“Porque estoy hablando del tiro de un proyectil... si lanzo algo debe caer...” (P2, Anexo 2, 6)

“Porque la fuerza peso atrae al proyectil hacia la tierra” (P7, Anexo 2, 6).

“Porque en la función cuadrática $a = -9,8...$ ” (P10, Anexo 2, 6)

Las respuestas anteriores pueden relacionarse con las correspondientes a la última cuestión, relativa a si la trayectoria en un lanzamiento de proyectil puede tener las ramas hacia arriba. Los alumnos **F4** y **F9** del grupo F respondieron desde el razonamiento físico, reconociendo la característica atractiva de la fuerza gravitacional; por ejemplo:

“No, porque estaría desafiando las leyes de la gravedad” (F9, Anexo 2, 7)

F2 dio una respuesta “dudosa” al justificar:

“Si se disparara hacia abajo y en el medio de la parábola hubiera alguna fuerza que venza a la gravedad se podría” (F2, Anexo 2, 7).

P2 brindó una respuesta parcialmente correcta, mostrando que posee parcialmente los significados de movimiento de proyectiles:

“No... depende del ángulo... puede ser una recta vertical u horizontal... en el caso de caída libre por ejemplo” (P2, Anexo 2, 7)

y el razonamiento es parcialmente correcto, pues al hablar de recta horizontal está ignorando la aceleración de la gravedad.

P10 justificó desde la contradicción:

“Se opondría al principio de la gravedad... lanzar un cuerpo y que suba [...] si elegimos el eje y hacia abajo....” (P10, Anexo 2, 7)

P7 no contestó.

3.3.1.3. PRIMERA FASE. SEGUNDA PARTE: LABORATORIO VIRTUAL MOVIMIENTO DE CARGAS EN CAMPO ELÉCTRICO UNIFORME

En la primera actividad se pretende que el alumno prediga comportamientos, evidenciado disponer (o no) de los IO (Invariantes operatorios, en forma de significados y relaciones) necesarios para establecer relación entre fuerza y campo eléctrico (propia del Electromagnetismo) y entre fuerza y cambio de movimiento (propia de Mecánica).

El alumno **F2** no distinguió trayectoria de movimiento, y recurrió al concepto de fuerza para su explicación “*MRU...Porque no hay **fuerzas** que actúen sobre la carga*” (F2, anexo 3, A1).

Los demás alumnos anticiparon una trayectoria rectilínea, diferenciando trayectoria de movimiento, y mientras que **F4** y **P7** explicaron desde los conceptos de fuerza, aceleración y velocidad, **F9**, **P2** y **P10** lo hicieron empleando el concepto de campo:

“Esperamos observar una trayectoria rectilínea, dirigida hacia la derecha ... Porque no existe ninguna fuerza que actúe sobre la carga.” (P7, anexo 3, A1).

“MRU Porque la velocidad de la carga se va a mantener constante y lo que varía es la posición de la carga” (F4, anexo 3, A1).

Estas explicaciones son argumentativamente pobres y no evidencian la apropiación del concepto de campo eléctrico. Las explicaciones de **F9**, **P2** y **P10** fueron más elaboradas, manifestando mayor disponibilidad de significados para dar las argumentaciones:

“... La carga realizara un movimiento rectilíneo uniforme, porque no hay campo eléctrico que genere una fuerza, es decir, no hay aceleración. Si la trayectoria no fuera recta, nos encontraríamos en presencia de un campo eléctrico.” (F9, anexo 3, A1).

“Porque al no haber campo eléctrico no existen fuerzas que modifiquen su estado.” (P2, anexo 3, A1)

“Porque no existe ninguna fuerza que actúe sobre la carga. La carga realizará un MRU porque no hay aceleración y por lo tanto la velocidad es constante. $F = q \cdot E$, si $E = 0$, luego $F = q \cdot 0 = 0$ ” (P10, anexo 3, A1).

Los alumnos **F9** y **P10** manifestaron disponibilidad de la noción de campo, así como de las relaciones entre campo, carga y fuerza. Además, ambos alumnos elaboraron anticipaciones de la forma *“sí... entonces...”*, que indicarían la capacidad de anticipar respuestas. **P10** elaboró argumentaciones empleando tanto el lenguaje verbal como el algebraico.

En la segunda actividad, correspondiente al movimiento de una partícula sin carga en un campo eléctrico, **F2** vuelve a mostrar respuestas pobres, con escasa argumentación, aunque recurre a la idea de campo, sin vincularlo explícitamente con la fuerza *“...porque el campo no afectaría a la partícula”* (F2, Anexo 3, A2). **P7** que mostró un pobre desempeño en la actividad anterior, elabora un argumento más completo, mostrando la disponibilidad de relaciones entre carga, fuerza, campo: *“Porque al ser la carga = 0, la partícula no se verá afectada por el campo eléctrico, es decir que la fuerza eléctrica sobre la partícula es nula.”* (P7, Anexo 3, A2). **F4** y **P2** mostraron argumentos débiles, sin referencia al concepto de campo, siendo consistente esta respuesta con la dada anteriormente: estos estudiantes no parecen haberse apropiado del concepto de movimiento de cargas en campos eléctricos; sus respuestas:

“Cuando la carga tiene valor cero la trayectoria que realiza la misma es una línea recta ... ya que no existe atracción entre cargas.” (F4, Anexo 3, A2) y

“Esperaría observar la misma trayectoria descrita anteriormente debido a que al estar la carga en equilibrio tiene tantos protones como electrones y las líneas de campo cuando esta partícula entre al mismo generarán fuerzas atrayentes y repelentes de la misma magnitud pero opuestas.”(P2, Anexo 3, A2).

Mientras que **F4** recurrió a la “ley de cargas” para su explicación, sin aludir al concepto de campo; **P2** habló de campo pero sin considerar el campo externo, sino el campo de la carga (que es este caso no existe); su argumento es confuso y manifiesta escasas y confusas relaciones entre los conceptos estudiados. En la explicación de **F9** el estudiante parece considerar implícitamente la relación fuerza-campo-carga, al decir *“Veríamos una partícula que atraviesa con movimiento rectilíneo uniforme el campo eléctrico sin ser afectada por el mismo. [...] esto sucede ya que la partícula no presenta carga (es neutra)”* (F9, Anexo 3,A2). En tanto al argumento de **P10** *“...Al no tener carga la partícula no se verá afectada por el campo eléctrico, la fuerza eléctrica sobre la partícula es nula”* (P10, Anexo 3,A2) .

Al proponer actividades, la mayoría de los alumnos proponen indagar sobre el signo de la carga que se lanza en un campo eléctrico; en sus respuestas **F2**, **F4** y **F9** hicieron referencia a la “ley de cargas”:

“[...]el signo de la carga es negativa ya que la trayectoria de la carga se dirige hacia la placa cargada positivamente” (acompaña con pantalla) (F4, Anexo 3,Act 3) .

P2 dio como argumento la concavidad de la parábola: *“[...] debido a que la curva que describe la trayectoria de la misma posee concavidad hacia abajo”*(P2, Anexo 3,Act 3) . **P7** y **P10** analizan la trayectoria de la carga ante un valor determinado del campo eléctrico y hacen razonamientos semejantes; por ejemplo:

“Si el campo fuese positivo y la carga se dirigiese hacia arriba esto indicaría que el signo de la carga es “positivo”, por el contrario, si se dirigiese hacia abajo sería negativa. La fuerza eléctrica que experimenta la carga tiene sentido contrario al campo eléctrico por lo tanto la aceleración tiene el mismo sentido que la fuerza, contrario al campo eléctrico. Al ejecutar la actividad propuesta, la carga se dirigió hacia abajo, al ser el campo positivo, da cuenta de que el signo de la carga es negativa. La fuerza eléctrica que experimenta la carga tiene sentido contrario al campo eléctrico y por lo tanto la aceleración tiene el mismo sentido que la fuerza, contrario al campo eléctrico”.(P10, anexo 3, actividad 3)

En los ítems en los que los alumnos deben explicar el comportamiento de la carga al variar diferentes parámetros (carga, velocidad, campo), en las actividades de duplicar la carga y de duplicar el campo, F2 y F9 hablan de una “trayectoria más corta” sin cuantificar este efecto. F2 continúa con sus argumentos escuetos, en el caso de duplicar la carga: *“...Porque al ser más grande la carga el efecto del campo va ser mayor sobre ella. $F = q E$ ”*(F2, Anexo 3,C3); introdujo como garantía de su respuesta la relación algebraica entre fuerza y campo, mostrando como posible teorema en acto esta relación física.

La respuesta de F9 aludió también al tiempo, haciendo uso de conceptos mecánicos:

“[al duplicar la carga] La trayectoria será más corta y demorará menos tiempo en colisionar, ...ya que la carga es atraída con mayor fuerza provocándole una mayor aceleración”, “(al duplicar el campo)... ya que la carga es atraída con mayor fuerza por el campo”. (F9, Anexo 3,C3)

F4 recurrió a la atracción de cargas:

“...va a haber mayor atracción de cargas lo que hace que la trayectoria se desvíe en menor tiempo” y “hay mayor atracción entre cargas opuestas”(F4, Anexo 3,C3)

En las respuestas de los alumnos del grupo P todos los estudiantes cuantificaron la modificación de la trayectoria (a la mitad). **P2** presentó como garantía en su explicación la Ley de Coulomb y un argumento que recurre a los conceptos de fuerza, aceleración, movimiento sobre el eje x:

“Al aumentar la carga al doble, la fuerza aumentará el doble por ley del Coulomb, luego como la aceleración es directamente proporcional a la fuerza esta también aumentará al doble. Como el recorrido en el eje “x” es inversamente proporcional a la aceleración este disminuirá a la mitad. Por lo que se confirma que el recorrido disminuye a la mitad al duplicar la carga” (P2, Anexo 3,C3).

“[Al duplicar el campo] aumenta la fuerza por lo tanto también la aceleración, al aumentar la aceleración el recorrido disminuirá de forma proporcional a este aumento por lo tanto podemos decir que el recorrido en el eje “x” disminuirá a la mitad” (P2, Anexo 3,C3) .

P7 y **P10** dieron respuestas semejantes entre sí en el ítem de carga y declararon que con el uso del simulador no puede verse si el alcance es, efectivamente la mitad:

“Al duplicar la carga, el módulo de la fuerza será el doble, por lo tanto la aceleración que adquiere la carga también se duplica por lo que el tiempo que tarde la carga en chocar con la placa será menor, y el alcance máximo será la mitad” (P7, Anexo 3,C3).

Ningún alumno realizó un análisis con representaciones algebraicas. En el ítem de duplicar campos, **P7** no reconoció variables independientes: *“...el campo eléctrico es inversamente proporcional al alcance de la partícula”(P7, Anexo 3,C3)* y cuantificó el efecto de duplicar el

campo: “*si el campo eléctrico se duplica, la trayectoria de la partícula se reduce a la mitad*”(P7, Anexo 3,C3). **P10** hizo una argumentación sin cuantificar, empleando sólo “relaciones”: “*Al duplicarse el campo eléctrico se duplica la fuerza, luego se duplica la aceleración y esto hace que se reduzca el alcance y el tiempo de impacto*”(P10, Anexo 3,C3)

Todos los alumnos acompañaron sus respuestas con pantallas ilustrativas del efecto de modificación de parámetros y no realizaron representaciones algebraicas.

El efecto de **invertir el sentido del campo** es interpretado por **F4** y **F9**:

“...debido a que la partícula siempre tiene la misma carga y siempre se desvía hacia la placa positiva” (F4, anexo 3, C6).

La explicación de **P2** hizo referencia a la fuerza y a la concavidad de la trayectoria:

“La curva que describe la trayectoria cambiará su concavidad, R debido a que la fuerza cambiará el sentido, la placa positiva se encontrara en la parte superior, por lo que la partícula debería chocar con la placa superior” (P2, anexo 3, C6).

P10 analizó además del cambio de concavidad, el punto de impacto:

“Si el campo eléctrico se invierte, las ramas de la parábola que describe la trayectoria de la carga, se invertirán también, debido a que las fuerzas que actuaban antes cambiaran su sentido. El punto de impacto será el mismo (sobre la placa cargada positivamente)” (P10, anexo 3, C6).

P7 es el único estudiante que aludió explícitamente al campo en su respuesta:

“Si el campo eléctrico se invierte también lo hace la trayectoria, porque la fuerza que se ejerce es opuesta al campo”(P7, anexo 3, C6).

El estudiante **F2** no contestó este ítem.

La actividad referida al **análisis de la trayectoria con el cambio de velocidad** requiere por parte de los alumnos el planteo y análisis de posibilidades. Así, las respuestas se dan en términos del alcance. Todos los estudiantes del grupo P reconocieron la proporcionalidad entre el alcance y el cuadrado de la velocidad inicial, **F2** reconoció modificación de la trayectoria, asumiendo que la velocidad aumenta, mientras que **F4** y **F9** necesitan del tiempo para dar una respuesta. Las respuestas de los estudiantes:

“[al modificar la velocidad] la trayectoria va a ser mayor” (F2, anexo 3, C4).

“Al aumentar la velocidad inicial de la carga, esta se va a desviar hacia la placa cargada con el signo opuesto con mayor lentitud”(F4, anexo 3, C4).

“El movimiento de la carga se vería afectado solo en el alcance que esta logra, pero demorara el mismo tiempo ya que la fuerza que lo atrae hacia la placa se mantiene constante a lo largo de la trayectoria” (F9, anexo 3, C4).

“Si la velocidad inicial disminuye: el recorrido en x disminuirá, y las ramas de la parábola serán más cerradas. Si la velocidad inicial aumenta: el recorrido aumentará y las ramas serán más abiertas [...] debido a que el recorrido en el eje “x” es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad inicial” (P2, anexo 3, C4).

El estudiante **P2** tiene incorporado el concepto de “cambio”, puede recurrir a relaciones entre conceptos físicos del campo de la Mecánica (relación entre velocidad inicial y alcance).

Una argumentación semejante a P2 (aunque sin discriminar casos posibles) la dan **P7**y**P10**:

“...el alcance máximo de la carga es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad inicial de la carga” (P7, anexo 3, C4).

En las actividades propuestas por los alumnos para discutir los efectos de cambio de parámetros, entre sus respuestas:

“ $q = -$; $v = +$; $E = 0$. La carga se mueve con MRU horizontal” (F2, anexo 3, A7).

“ q : +; v : 15; E : -. Al ser el campo negativo las cargas se dirigen hacia las placas con cargas positivas”. (F4, anexo 3, A7)

“ $q = 5 \cdot 10^{-8} C$; $V = 50 \text{ cm/s}$; $E = 2 \cdot 10^4 \text{ N/C}$. La carga tendrá una trayectoria parabólica prolongada, ya que tiene una velocidad considerable pero es atraída débilmente por el campo eléctrico. Posiblemente atraviese el campo eléctrico sin colisionar en las placas” (F9, anexo 3, A7).

“ q : $1,6 \cdot 10^{-8} C$; v : 50 cm/s ; E : $10 \cdot 10^4 \text{ N/C}$. La carga describirá una trayectoria cóncava hacia abajo, [...] se ejerce sobre la carga una fuerza en sentido opuesto al campo, por ende la aceleración ira en el mismo sentido que la fuerza” (P2, anexo 3, A7).

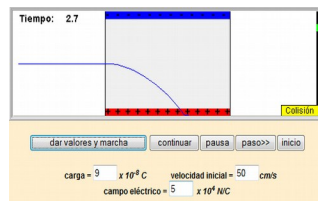
P7 consideró en sus conjeturas estar en presencia de un electrón (lo cual muestra no interpretar la información del simulador); reinterpretó desde distintos puntos de vista (campo-fuerza-trayectoria-movimiento), sus proposiciones están armadas “al revés” la variable independiente y la dependiente (“...El campo eléctrico es inversamente proporcional al alcance de la partícula ...”(P7, anexo 3, A7)); presentó argumentos en lenguaje verbal para la conclusión; muestra criterios de organización de la información, selección y variación de parámetros; en los casos que corresponde hacer comparaciones, introduce dos pantallas; emplea expresiones genéricas de las variables (“ Q , $2v$, E ”); entre los conceptos empleados: carga, fuerza, campo, aceleración, velocidad, alcance, trayectoria, así como relaciones entre fuerza y campo, y entre aceleración y fuerza. Como ejemplo de conjeturas de P7: “ $2q$, v , E . Al duplicar la carga: el módulo de la fuerza será el doble; la aceleración también se duplica y el alcance se reduce a la mitad”(P7, anexo 3, A7).

P10 en todos los casos analizó las conjeturas con el uso del simulador, incorporando pantallas. A modo ilustrativo sus respuestas:

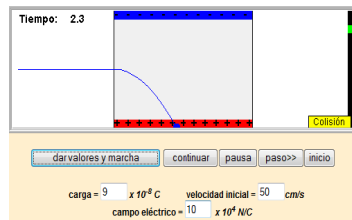
“Si E y v son constantes y q aumenta (disminuye), en la trayectoria el alcance disminuye (aumenta) de forma inversamente proporcional y el tiempo en chocar con la placa disminuye (aumenta). Si el que cambia es el signo de la carga las ramas de la parábola se invierten ya que se invierte el sentido de la fuerza. Esta parte no se puede comprobar en el simulador, porque no admite cargas negativas.” (P10, anexo 3, A7)

Figura 12: Análisis de conjetura con el uso del simulador(P10, anexo 3, A7)

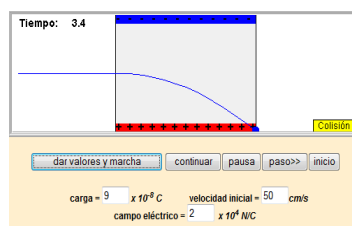
Conjetura 1: *Mantenemos constante la carga y la velocidad, y hacemos variar el campo.*



Si aumentamos el campo:



Si disminuimos el campo:



El último ítem también buscó indagar sobre las argumentaciones de los estudiantes ante diferentes afirmaciones. **F2** sólo presentó pantallas como respuesta. **F4** argumentó verbalmente una única consigna y lo hizo de manera incorrecta:

“Por fórmula el alcance es directamente proporcional a la velocidad”(F4, anexo 3, A7, II).

F9 fundamentó verbalmente todas las proposiciones:

“[Cuando mayor es la velocidad de la carga mayor es su alcance] es verdadera que el alcance está dado por la velocidad en X de la partícula y no por la fuerza con que es atraída por el campo” (F9, anexo 3, A7, II)

“[Al aumentar el valor de la carga disminuye su alcance]es Falso. Solo se producirá un incremento en la aceleración en el eje Y, o sea que solo disminuirá el tiempo en el que la carga colisiona con la placa”. (F9, anexo 3, A7, II).

P2 presentó argumentos verbales correctos y pantallas para validar, por ejemplo:

“La carga ingresa en un campo eléctrico sin desviarse, debido a que al no haber campo no existirán fuerzas que modifiquen su estado.” (P2, anexo 3, A7, II).

“Al aumentar el valor de la carga el alcance disminuye debido a que aumenta la aceleración y esta es inversamente proporcional al recorrido” (P2, anexo 3, A7, II).

P7 presentó argumentos verbales correctos y pantallas para validar, haciendo deducciones matemáticamente correctas y pertinentes a la consigna, por ejemplo:

“El alcance es $R = \frac{V_0^2 \cdot \text{sen} 2\Phi}{a} = \frac{V_0^2 \cdot \text{sen} 2\Phi}{\frac{2qE}{m}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_0^2 \cdot \text{sen} 2\Phi}{\frac{qE}{m}}$, entonces si aumentamos la carga observamos analítica y gráficamente que el alcance disminuye” (P7, anexo 3, A7, II).

Figura 13: Figuras ilustrativas de las afirmaciones relativas al cambio en la trayectoria al aumentar el valor de la carga eléctrica (P7, anexo 3, A7, II).



P10 brindó argumentos verbales y simbólicos, además de icónicos con pantallas comparativas. Ilustrativamente:

“...Ya que al no existir campo eléctrico no habrá fuerza eléctrica que actúe sobre la carga, y por la primera ley de Newton la carga se moverá con velocidad constante y en el mismo sentido o dirección que la velocidad inicial” (P10, anexo 3, A7, II).

“...Porque al aumentar E aumenta la fuerza eléctrica sobre la carga ya que $F=q.E$ y aumenta la aceleración ya que $a=F/m$ entonces el alcance máximo disminuye en forma inversamente proporcional a la aceleración. Ya que $R=(v_0^2 \cdot \text{sen } 2\Theta)/a$...”(P10, anexo 3, A7, II).

3.3.1.4. PRIMERA FASE. TERCERA PARTE: POST-LABORATORIO VIRTUAL MOVIMIENTO EN CAMPO ELÉCTRICO

En la **primera parte** de esta tarea se indagó sobre la prevalencia de los factores que afectan el movimiento de una carga en campo eléctrico uniforme. De las respuestas de los estudiantes en un ítem de selección verdadero-falso, se encontró que la mayoría reconocieron correctamente el cambio en la trayectoria al modificar velocidad de lanzamiento, carga o campo.

En la **segunda parte** se buscó que los alumnos comunicaran las representaciones de que disponían de los significados de movimiento de cargas en campos (velocidad inicial, fuerza y signo de la carga), en la acción de interpretar la trayectoria de una carga al ingresar a la región entre dos placas planas paralelas. Los estudiantes debieron representar las líneas de campo, para lo cual tuvieron que reconocer sus propiedades, como: la propiedad de las mismas de nacer en las cargas positivas y terminar en cargas negativas, y la propiedad de ser líneas equidistantes por tratarse de un campo uniforme: todos los alumnos realizaron correctamente esta representación. A modo ilustrativo:

Figura 14: Representación de las líneas de campo (F4, anexo 4, cuarta parte)

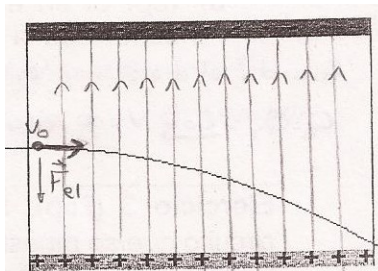
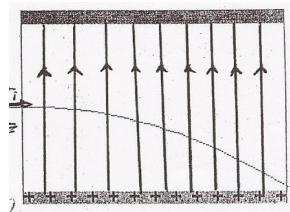
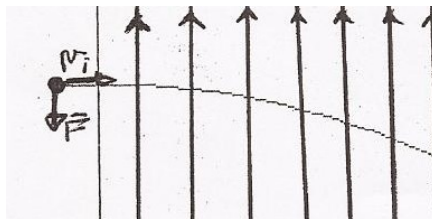


Figura 15: Representación de las líneas de campo (P2, anexo 4, cuarta parte)



También la totalidad de los estudiantes identificaron el vector velocidad inicial, representaron correctamente la fuerza sobre la carga y determinaron su signo.

Figura 16: Representación de fuerza y velocidad (P2, anexo 4, segunda parte)



Al justificar el signo de la carga, sólo **P7** reconoció la relación fuerza-campo:

“La carga tiene signo – porque se mueve en sentido opuesto a las líneas de campo” (P7, anexo 4, segunda parte, h)

F2, **F4**, **F9** y **P10** recurrieron en su explicación a la “ley de cargas” y **P2** no contestó. A modo de ejemplo:

“La carga tiene signo – porque es atraída por la placa +” (F2, anexo 4, segunda parte, h)

En la **tercera parte**, en la que se pidió inferir el comportamiento de la carga (en trayectoria y en la fuerza) al duplicar la velocidad de lanzamiento (semejante a lo realizado en la actividad de laboratorio anterior), **F2** respondió correctamente pero sin justificar.

El alumno **F4**, reconoció:

“[la trayectoria] Será más amplia, recorre una distancia mayor debido a que $\Delta x = v_o t$, la velocidad v_o es directamente proporcional al Δx ” (F4, anexo 4, tercera parte, a)

“[La fuerza] es la misma ya que $\vec{F} = q\vec{E}$ y no depende de la velocidad” (F4, anexo 4, tercera parte, b).

La respuesta del estudiante **F9** correspondió a la cuestión sobre modificación de trayectoria y aceleración al duplicar la carga:

“[la trayectoria] sería más corta chocando con la placa positiva a una menor distancia, ya que la fuerza de atracción hacia la placa aumentaría” (F9, anexo 4, tercera parte, b).

“[La aceleración] *aumentará de forma proporcional al aumentar la carga... $a = qE/m$ ” (F9, anexo 4, tercera parte, b).*

Los alumnos del grupo P respondieron en esta tercera tarea, referida al comportamiento de la carga al duplicar la velocidad de lanzamiento, sólo con representaciones verbales. Así, el estudiante **P2** expresó:

“[la trayectoria] *también sería hacia abajo pero más larga entra más rápido en el mismo campo*” (P2, anexo 4, tercera parte, b)

“[La fuerza] *Sería mayor... el campo ejercería más fuerza para atraerla a x*” (P2, anexo 4, tercera parte, b)

El alumno **P7** caracterizó a la trayectoria por la forma, no la función en sí, respondiendo:

“*No cambia la trayectoria, sigue siendo la misma, pero choca más lejos*” (P7, anexo 4, tercera parte, a).

“[la fuerza eléctrica] *también cambiaría porque es proporcional: si se modifica la velocidad cambia la aceleración y aceleración se relaciona con la fuerza*” (P7, anexo 4, tercera parte, b).

P10, de modo semejante a sus compañeros, respondió en lenguaje verbal, pero explicitando relaciones cuantitativas:

“[la trayectoria] *sería cuatro veces mayor, es decir la parábola estaría con sus ramas cuatro veces más abiertas, dado que el recorrido, alcance máximo, es proporcional a la velocidad al cuadrado*” (P10, anexo 4, tercera parte, a)

“[La fuerza No cambiaría] *nada, porque la fuerza y la velocidad no se relacionan*” (P10, anexo 4, tercera parte, b).

En la **cuarta parte** los alumnos debieron inferir la dirección y el sentido del campo eléctrico en diferentes regiones a partir de la trayectoria, y además ordenar (según criterio a establecer) las magnitudes de estos campos. Por último, y sin hacer cálculos, debieron elaborar un plan

para determinar la magnitud de campo en una región particular. Al representar el campo, **P7** lo hizo incorrectamente en todos los casos. Los estudiantes **F2** y **F9** representaron todos los campos de la misma manera, como se ilustra en la siguiente figura:

Figura 17: Representación del campo eléctrico (F2, anexo 4, cuarta parte, a)

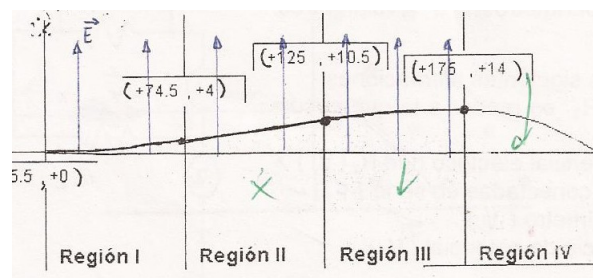
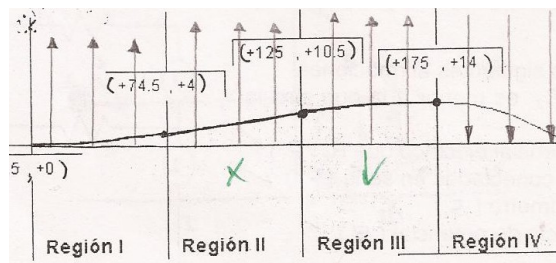
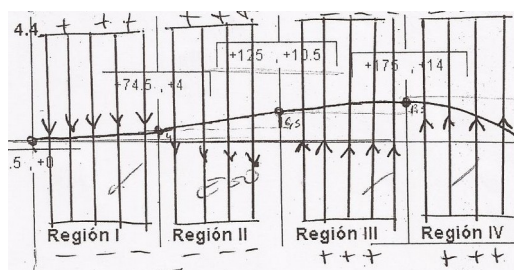


Figura 18: Representación del campo eléctrico (F9, anexo 4, cuarta parte, a)



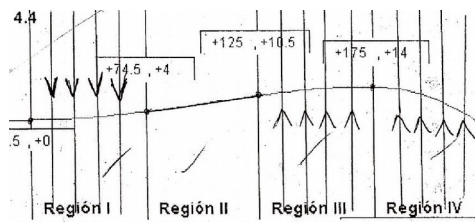
El alumno **P2** no reconoció el campo nulo, como se muestra en su respuesta:

Figura 19: Representación del campo eléctrico (P2, anexo 4, cuarta parte, a)



F4 y P10 representaron los campos de todas las regiones correctamente, como muestra la respuesta de P10:

Figura 20: Representación del campo eléctrico (P10, anexo 4, cuarta parte, a)



Ningún alumno que contestó ordenó correctamente las magnitudes de los campos, F9 y P7 no respondieron. Por ejemplo, el estudiante F2 respondió:

“El módulo de campo eléctrico es el mismo en todas las regiones” (F2, anexo 4, cuarta parte, b)

Para determinar el valor del campo en una región a partir de la información brindada en la gráfica, F4 propuso el modelo de carga puntual y además de la fórmula incorporó una argumentación verbal:

“Usaría la fórmula $E = kQ/r^2$, la distancia r estaría determinada por la trayectoria de la zona I a la II” (F4, anexo 4, cuarta parte, c).

F2, F9 y P10 utilizaron variables cinemáticas, las relaciones entre fuerza y campo, y la segunda ley de Newton, así exponen sus argumentos:

“ $\vec{F} = \vec{E} q$, $\vec{F} = m \vec{a} \rightarrow \vec{E} = m \vec{a} / q$; $Vx = x/t \rightarrow t = x/Vx$; $Y = voy t + 1/2at^2$; $a = 2Y/t^2$. Tenemos a , q y m , entonces averiguamos E ”. (F2, anexo 4, cuarta parte, c)

“ $v = \frac{\Delta x}{t} \rightarrow t = \frac{\Delta x}{v}$; $y = \frac{1}{2} at^2 \rightarrow a = \frac{2y}{t^2}$; $a = \frac{q\vec{E}}{m} \rightarrow \vec{E} = \frac{am}{q}$ ” (F9, anexo 4, cuarta parte, c)

“Yo con las coordenadas de ingreso y salida a la región (25.5; 0) y (74.5; 4) más la velocidad inicial, armo las variables cinemáticas del espacio en x e y $x(t) = 25.5 + 60 t$, $y(t) = \frac{1}{2} a t^2$.”

Luego hallo el instante t en que $x(t) = 74,5$ y lo reemplazo en $y(t)$ para despejar la aceleración.

Finalmente $|\vec{E}| = \frac{m|\vec{a}|}{q}$ y calculo el módulo del campo". (P10, anexo 4, cuarta parte, c)

P7 no respondió y el estudiante P2 recurrió a variables cinemáticas realizando cálculos con errores y de manera confusa:

Figura 21: ¿Cómo hallar el valor del campo? (P2, anexo 4, cuarta parte, c)

Handwritten student work showing calculations for the electric field magnitude $|\vec{E}|$. The student uses the formula $|\vec{E}| = \frac{F}{q} = \frac{m|\vec{a}|}{q}$. They substitute $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ (implied), $|\vec{a}| = 5.7 \times 10^{-12} \text{ m/s}^2$, and $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$. The calculation results in $|\vec{E}| \approx 1.88 \times 10^{-14} \text{ N/C}$. There are also notes about acceleration components: $a_x = 0$ and $a_y = 0$. A kinematic equation $y(t) = v_0 y t + \frac{1}{2} a_y t^2$ is written, with a circled $t = 1.9$ and a final result $a_y = 3.3 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$.

3.3.1.5. SEGUNDA FASE. PRIMERA PARTE: DIAGNÓSTICO DEL MOVIMIENTO DE CARGAS EN CAMPOS MAGNÉTICOS UNIFORMES

En la primera cuestión de esta prueba escrita, los alumnos debieron predecir el movimiento del ión al pasar por dos regiones con diferentes situaciones de campo magnético uniforme: nulo y entrante/saliente. Para responder se requirió disponer de los IOF: significados de fuerza, carga, campo magnético, trayectoria, y las relaciones de fuerza magnética sobre carga eléctrica en movimiento, además de los IOM producto vectorial y vectores.

Todos los alumnos reconocieron, correctamente, el movimiento rectilíneo uniforme del ión en ausencia de campo magnético, y en sus explicaciones verbales y/o algebraicas surgieron los posibles conocimientos en acto. Sus argumentos fueron:

“...debido a que no hay ninguna fuerza que lo haga cambiar ese estado de movimiento” (F2, anexo 5, a)

“Si no hay Campo no hay fuerza que cambie el movimiento” (F4, anexo 5, a)

“...ya que no hay ninguna fuerza que actúe sobre la carga” (F9, anexo 5, a).

“...ya que no hay fuerzas que lo atraigan o que se ejerzan sobre él.” (P2, anexo 5, a)

“Porque no hay campo que le modifique” (P7, anexo 5, a)

“Debido a que al no existir campo magnético, no existe fuerza que lo desvíe y/o acelere” (P10, anexo 5, a).

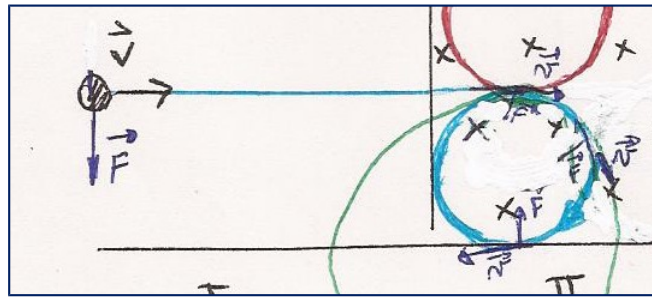
Al explicar el movimiento en presencia de campo magnético, excepto **P2** que respondió incorrectamente (MRUA), y **F2** que contestó de manera ambigua: “...movimiento acelerado...”(F2, anexo 5, b); los demás estudiantes respondieron que la carga realizará un movimiento circular uniforme. Otras respuestas de los estudiantes fueron las siguientes:

“existe un campo magnético que produce una fuerza que modifica la trayectoria” (F2, anexo 5, b)

“...debido a la acción de la fuerza centrípeta originada por el campo” (F4, anexo 5, b), “...ya que hay una fuerza constante que cambia la dirección del vector velocidad pero no su módulo” (F9, anexo 5, b).

“...debido a que la fuerza inicialmente va hacia abajo y como la velocidad y la fuerza son siempre \perp la partícula que empieza a irse hacia abajo, pronto irá cambiando por acción de \vec{F} hacia la izquierda debido a que \vec{v} es siempre tangente a la trayectoria y $\vec{v} \perp \vec{F}$ siempre. (ver dibujo en e) en celeste)” (P10, anexo 5, b).

Figura 22: Ilustración del movimiento de la carga en un campo magnético (P10, anexo 5, b)

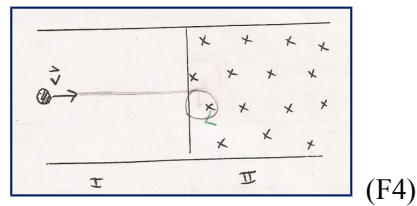


En la respuesta incorrecta de P2, este alumno escribió:

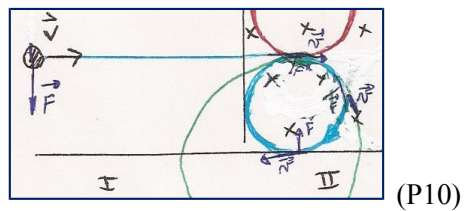
“MRUA porque el campo va a ejercer fuerza sobre el ion” (P2, anexo 5, b).

La tercera consigna complementaba las dos anteriores, al dibujar los alumnos la trayectoria del ión. Entre las repuestas representativas de los alumnos encontramos:

Figura 23: Representación de trayectoria circular (F4 y P10, anexo 5, c)

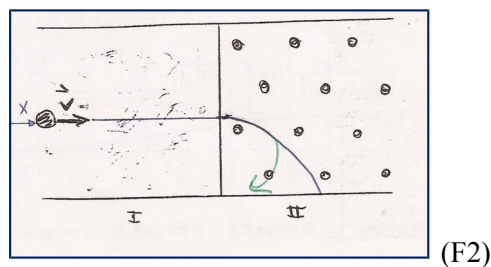


(F4)

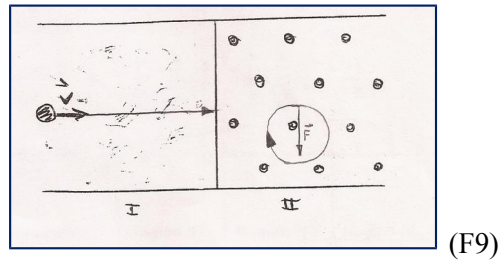


(P10)

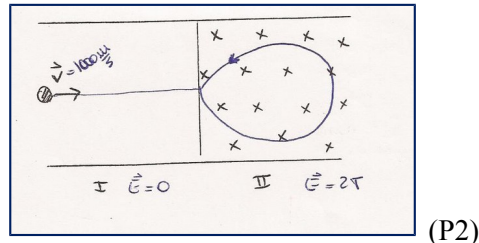
Figura 24: Representación de trayectorias con errores (F2, F9, P2 y P7, anexo 5, c)



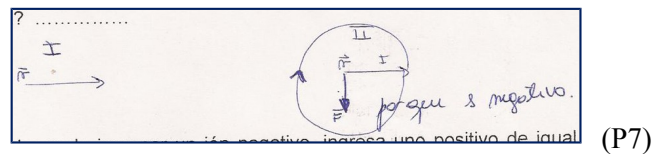
(F2)



(F9)



(P2)



(P7)

Así, los alumnos **F4** y **P10** dibujaron trayectorias correctas en las dos regiones, en tanto del, mientras que **F2** y **P2** dibujaron una trayectoria correcta en ausencia de campo, pero con errores en la región con campo: **F2** dibujó una trayectoria que pareciera parabólica y **P2** con errores en la región entre campos (trayectoria en pico).

En sus justificaciones, **F2** ratificó lo que era implícito en la consigna anterior (no reconocimiento de propiedades de la fuerza magnética y tipo de trayectoria), y señaló:

“Es así porque existe una fuerza ubicada por la regla de la mano derecha que modifica la trayectoria. La fuerza se encuentra en la dirección -y” (F2, anexo 5, c)

F4 respondió:

“...en la región I la trayectoria será la misma debido a que no hay fuerzas que la atraen, ... al entrar en la región II la trayectoria se tornará circular porque aparece la fuerza ejercida por el campo, que la desvía originando el mov. Circular” (F4, anexo 5, c)

La respuesta de **F9** parece indicar que el alumno no comprendió la variabilidad punto a punto de la fuerza magnética (es decir el concepto de fuerza como campo vectorial variable):

“...en la región II la trayectoria es circular en sentido horario ya que hay una fuerza constante hacia abajo que modifica la dirección y sentido de la carga” (F9, anexo 5, c).

Las explicaciones de **P2** mostrarían que no ha construido conceptos relativos al movimiento en campo magnético:

“...en I al tener MRU sigue la misma trayectoria...en II por la regla de la mano derecha” (P2, anexo 5, c).

P7 justificó la trayectoria en el campo, desde el signo de la carga, “porque es negativo” (P7, anexo 5, c).

P10 respondió: “En la región I es una recta porque no existe \vec{F} al no existir \vec{B} ; entonces el movimiento queda definido sólo por \vec{v} en II existe \vec{F} que siempre es $\vec{F}\vec{v}$ entonces \vec{F} y \vec{v} irán variando en función de \vec{v} a la trayectoria describiendo una circunferencia” (P10, anexo 5, c).

Al analizar la modificación de la trayectoria al cambiar el signo del ion, todos los estudiantes reconocen el cambio de trayectoria al cambiar la carga del ión, sin embargo no todos parecen interpretarla correctamente. Sólo **P7** y **P10** diferencian los comportamientos en las regiones sin campo y con campo, evidenciando una mayor atención a la situación general. Las respuestas dadas:

“...al ser de signo opuesto la fuerza apunta hacia el eje +y, por lo tanto el ion se desviará hacia el otro lado” (F2, anexo 5, d).

“la \vec{F} será la asignada por la regla de la mano derecha, la fuerza sobre el ión positivo será contraria a la anterior y generará una trayectoria circular con el centro dirigido hacia esa fuerza” (F4, anexo 5, d),

“...se invierte [la trayectoria], ya que interactuará de forma inversa con el campo, originando una fuerza contraria” (F9, anexo 5, d).

“será la misma trayectoria pero cambiará el sentido” (P2, anexo 5, d)

“...en la región II la trayectoria será también una circunferencia con el mismo radio, pero al ingresar al campo se describirá hacia arriba (sentido antihorario) ya que la fuerza inicialmente iría hacia arriba” (P10, anexo 5, d).

El último ítem consistió en analizar qué cambios y por qué se producirían en la trayectoria, si uno de los parámetros (la velocidad de ingreso) se duplicara. Todos los estudiantes reconocieron modificaciones en el movimiento, lo cual expresaron de diferentes maneras, dando origen a interpretaciones de los conceptos y teoremas en acto presuntamente disponibles.

Figura 25: Efectos de la duplicación de la velocidad (F2, anexo 5, e)

Si la afectara porque =

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

$$q \cdot \vec{v} \times \vec{B} = m \cdot \frac{v^2}{r} \Rightarrow r = \frac{m \cdot v^2}{q \vec{v} \times \vec{B}} = \frac{m \cdot v}{q B}$$

$$2r = \frac{2m \cdot \vec{v}}{q B}$$

“el radio sera el doble” ✓

“...porque el radio de giro es directamente proporcional a la velocidad, dado $R = \frac{mv}{qB}$; al aumentar v , el radio aumenta en la misma proporción” (F4, anexo 5, e);

“...ya que al aumentar la masa de la partícula aumenta su radio de giro en una relación dada

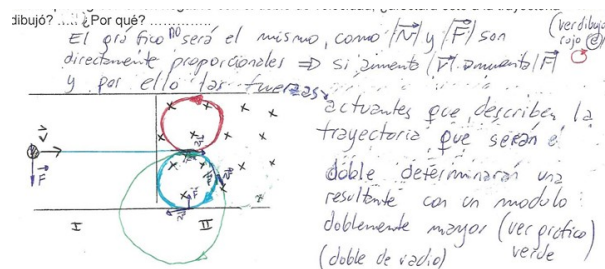
por $R = \frac{mv}{qB}$;” (F9, anexo 5, e);

“... la circunferencia va a ser mayor, el campo lo va a tirar con más fuerza y por $R = \frac{mv}{qB}$ el R va a ser el doble” (P2, anexo 5, e),

“Mayor fuerza, giraría más fuerte y sería más grande la circunferencia. $R = \frac{mv}{qB}$ “R > , v >”(P7, anexo 5, e),

“El gráfico no será el mismo, como $|\vec{v}|$ y $|\vec{F}|$ son directamente proporcionales \Rightarrow si aumenta $|\vec{v}|$ aumenta $|\vec{F}|$ y por ello las fuerzas actuantes que describen la trayectoria, que serán el doble, determinarán una resultante con un módulo doblemente mayor, doble de radio (ver gráfico verde)” (P10, anexo 5, e).

Figura 26: Cambio de trayectoria al aumentar la velocidad(P10, anexo 5, e),



3.3.1.6. SEGUNDA FASE. SEGUNDA PARTE: LABORATORIO VIRTUAL DE MOVIMIENTO EN CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME

En el laboratorio virtual se repiten varias de las cuestiones indagadas en el diagnóstico, como: predecir, justificar y validar con el simulador la trayectoria de un ión en ausencia y en presencia de campo magnético.

Los estudiantes **F2**, **F4**, **F9**, **P2** y **P10** reconocieron al campo como mediador de una interacción. A modo ilustrativo algunas respuestas:

“[...] al haber un campo magnético, la partícula adquiere una fuerza centrípeta ...” (F9, anexo 6, 4)

“En ausencia de ambos campos: eléctrico y magnético, la carga describe un MRU producto de la velocidad inicial con la que es lanzada la partícula” (P2, anexo 6, 3)

Todos los estudiantes caracterizaron correctamente la trayectoria de iones en campos magnéticos uniformes, a modo ilustrativo sus respuestas:

“La trayectoria que esperamos que siga es circular, con sentido anti horario, porque la velocidad es horizontal dirigida hacia la derecha, y la carga es positiva” (P7, anexo 6, 4)

“[en presencia de campo magnético] Esperaríamos una trayectoria circular, porque al haber un campo magnético, la partícula adquiere una fuerza centrípeta que le da esa forma a la trayectoria” (F9, anexo 6, 4)

Algunos estudiantes (P2, P10), caracterizaron la fuerza magnética en sus respuestas:

“Esta fuerza siempre es perpendicular a la velocidad y apunta hacia el centro de la trayectoria, la velocidad a su vez es siempre tangente a la trayectoria y perpendicular al campo magnético. La fuerza al apuntar siempre hacia el centro y ser siempre perpendicular a la velocidad va cambiando de dirección, al igual que la velocidad también lo hace, pero siempre conservaran constante su módulo” (P10, anexo 6, 4)

Otros estudiantes aludieron al carácter de fuerza centrípeta (F2, F4):

“...la fuerza ejercida sobre la partícula es perpendicular a la velocidad de la misma, por lo tanto es una fuerza centrípeta” (F2, anexo 6, 4)

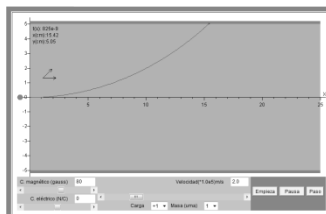
“porque al haber un campo magnético, la partícula adquiere una fuerza centrípeta que le da esa forma a la trayectoria”. (F4, anexo 6, 4)

P2 y P10 respondieron:

“Se espera que la partícula positiva describa una trayectoria circular uniforme, en un sentido anti horario, debido a que toda partícula que ingresa en un campo magnético experimenta una fuerza cuyo sentido y dirección están definidas por la regla de la mano derecha. Esta fuerza siempre es perpendicular a la velocidad y apunta hacia el centro de la trayectoria, la velocidad a su vez es siempre tangente a la trayectoria y perpendicular al campo magnético. La fuerza al apuntar siempre hacia el centro y ser siempre perpendicular a la velocidad va cambiando de dirección, al igual que la velocidad también lo hace, pero siempre conservaran constante su módulo” (P2, anexo 6, 4)

Al pedirles a los alumnos que corroboren sus respuestas anteriores con el simulador, todos respondieron que se cumplieron sus predicciones de trayectoria circular, aunque la pantalla que mostraron algunos estudiantes es la siguiente, en la cual no se observa claramente la “circunferencia”.

Figura 27: Trayectoria de una carga positiva en un campo magnético entrante (F2, anexo 6, 5)

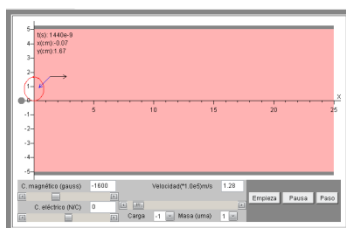


Al comparar trayectoria para cargas de diferentes signos, todos los alumnos reconocieron que la trayectoria cambiará su sentido, mostrando en sus explicaciones el adecuado uso de los conceptos de sentido de giro horario/antihorario, fuerza, radio. A modo ilustrativo:

“Lo que se modificaría es la orientación de la fuerza, por lo que varía su sentido de giro en la trayectoria de la partícula” (F2, anexo 6, 6).

“El movimiento seguiría siendo circular, pero se invertirá el sentido de la fuerza, por lo que en este caso la partícula se dirigirá hacia el lado contrario.” (F4, anexo 6, 6).

Figura 28: Ilustración de respuesta (F4, anexo 6, 6)



“Si la carga es de igual magnitud pero ahora negativa, será un espejo de la trayectoria anterior es decir que estará orientada hacia el otro lado y tendrá el mismo radio” (F9, anexo 6, 6)

Figura 29: Ilustración de respuesta (F9, anexo 6, 6)



“La trayectoria se traslada en el sentido de las agujas del reloj (sentido horario)” (P7, anexo 6, 6)

“Al mantenerse las condiciones anteriores pero cambiar la carga de la partícula (ahora será negativa), va a cambiar el sentido de la fuerza por lo que la trayectoria seguirá siendo

circular uniforme pero comenzando a describirla hacia abajo y en sentido horario. El radio va a ser el mismo ya que la carga será del mismo tamaño (misma masa)” (P10, anexo 6, 6)

En los ítems en los cuales se analizaron los efectos sobre la trayectoria de la partícula ante cambios de distintos factores (masa, carga, campo, velocidad), los alumnos respondieron:

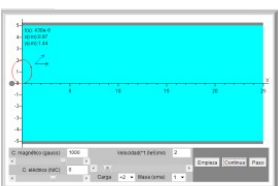
- 1) Al estudiar el comportamiento de partículas con cargas idénticas pero diferentes masas en el mismo campo magnético, los estudiantes brindan respuestas como las siguientes:

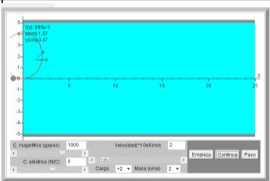
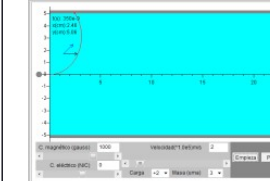
“La trayectoria que observamos es la de un movimiento circular uniforme, la diferencia entre una trayectoria y otra al variar la masa, el que a mayor masa, mayor será el radio de la trayectoria que describe la partícula” (F2, anexo 6, 7)

“Las tres trayectorias son circulares, pero difieren en el radio, debido a que este es directamente proporcional a la masa: mientras más grande sea, mayor será el radio” (F4, anexo 6, 7).

“Se espera observar una trayectoria circular uniforme en sentido anti horario [...] Podemos ver que las fuerzas que experimentan las tres cargas poseen en común el sentido y la trayectoria que describen es la misma, pero lo que cambia es el radio de giro de la órbita circular que se hace mayor cuando la masa es mayor [...] podemos decir entonces que la masa de la carga es directamente proporcional al radio de la trayectoria.” (P2, anexo 6, 7).

Figura 30: Dependencia de la trayectoria con la masa (P7, anexo 6, 7)

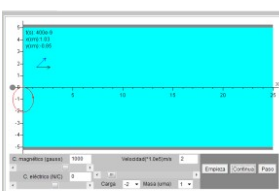
<i>Datos fijos</i>	<i>Masa</i>	<i>Simulador</i>
$q = 2$ $B = 1000 \text{ G}$	$m = 1$	

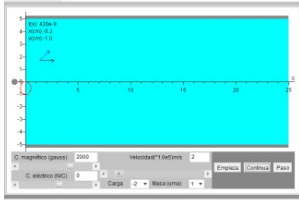
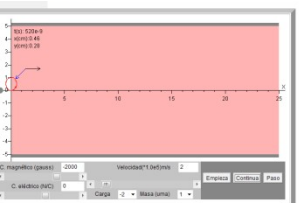
	$m = 2$	
	$m = 3$	
Conclusión	<p>Al considerar una carga positiva $q = 2,16 \cdot 10^{-19}C$, un campo magnético $B = 1000G$, con una velocidad inicial de $2m/s$ dirigido horizontalmente hacia la derecha, observamos al variar la masa de la carga que la trayectoria es circular en los tres casos, con sentido anti horario, pero lo difieren es el radio. El radio es directamente proporcional a la masa.</p>	

2) Al describir el comportamiento de un ión negativo al moverse en tres campos magnéticos diferentes, excepto F2, los demás alumnos consideraron diferentes campos, no sólo en magnitud sino también en sentido. F9 no anticipó la trayectoria, y justificó lo observado en el simulador para campo cero, positivo y negativo, incorporando como respaldo a sus respuestas las pantallas. F2 y F4 anticiparon una trayectoria circular, y justificaron la variabilidad del radio; por ejemplo:

“Las tres trayectorias son circulares, a medida que el campo magnético aumenta, el radio disminuye ya que son inversamente proporcionales” (F4, anexo 6, 8).

Figura 31: Dependencia de la trayectoria con el campo (P7, anexo 6, 8)

Datos fijos	Campo Magnético G	Simulador
$q = -2$ $m = 1$ uma	$B = 1000$	

	$B = 2000$	
	$B = -1500$	
<p>Conclusión</p>	<p>Al considerar una carga negativa $q = -2.16 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, con una masa $m = 1 \text{ uma}$, con una velocidad inicial de 2 m/s dirigido horizontalmente hacia la derecha, observamos al variar el campo magnético, la trayectoria es circular en los tres casos, en los dos primeros donde B es positivo el sentido es horario, es decir con sentido a las agujas del reloj; en cambio el tercer caso donde B es negativo el sentido es antihorario. También observamos que a mayor magnitud (módulo) de B, menor radio. Concluimos así que el radio es inversamente proporcional a B.</p>	

“Se espera observar una trayectoria circular uniforme en sentido horario. Podemos ver que las fuerzas que experimentan las tres cargas poseen en común el sentido y la trayectoria que describen es la misma, pero lo que cambia es el radio de giro de la órbita circular que se hace menor cuando el campo magnético es mayor. Podemos decir entonces que **es inversamente proporcional el campo magnético con el radio de la trayectoria**”. (P2 y P10, anexo 6, 8)

3) Al resumir de qué modo afecta a la trayectoria, para un valor de carga fijo, los cambios en la masa, el campo o la velocidad, las respuestas siguientes son ilustrativas de lo dicho por los alumnos:

“Cuando la masa de la partícula aumenta, el radio de giro de la misma al ser inserta en un campo magnético, aumenta en proporción; lo mismo sucede si aumentamos la velocidad inicial con la que la partícula ingresa al campo; y si aumentamos la intensidad del campo magnético, el radio de giro que recorrerá la partícula será menor” (F2, anexo 6, 10)

“La trayectoria siempre será circular, cambiando el radio de este según ciertos parámetros. Al aumentar la velocidad o la masa el radio aumenta, pero al aumentar parámetros tales como la carga o el campo magnético el radio disminuye ya que son inversamente proporcionales” (F4, anexo 6, 10)

“La trayectoria es siempre circular, si la partícula posee carga y está en presencia de un campo magnético. El radio de la trayectoria aumenta en forma directamente proporcional a la masa y a la velocidad. El campo y la carga afectan de manera inversamente proporcional al radio de la trayectoria” (P2, anexo 6, 10)

“Podemos concluir que la trayectoria será siempre circular, siempre que la partícula tenga carga y esté en presencia de un campo magnético (no nulo). El radio de esta trayectoria está definido de forma: Directamente proporcional a la masa de la carga y al módulo de la velocidad con la que ingresa. Inversamente proporcional al módulo del campo magnético al que está sometida la carga.” (P10, anexo 6, 10)

En el diseño de la experiencia para analizar el cambio producido por el aumento de la velocidad de ingreso del ion al campo, todos los estudiantes del grupo F propusieron valores particulares de parámetros, y sin escribir la actividad solicitada, dieron sus respuestas. **F2** afirmó, proponiendo valores particulares: *“Mientras aumenta la velocidad inicial de la partícula, mayor se hace el radio de giro en la trayectoria de la misma”* (F2, anexo 6, 10). Respuestas semejantes dieron **F4** y **F9**, ilustrando con pantallas para tres situaciones de velocidad diferentes. **P7** no propuso una experiencia, sino que analizó, como los alumnos del grupo F, los resultados de modificar la velocidad. En tanto **P2** y **P10** concluyeron:

“Se puede observar que al trabajar en la condiciones dadas la trayectoria se conserva al igual que el sentido pero al aumentar la velocidad se produce un aumento en el radio de giro de la

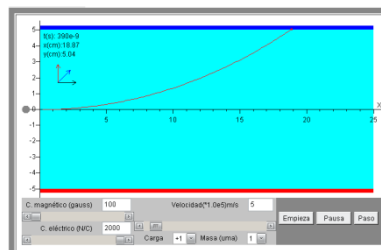
trayectoria. Podemos ver que las fuerzas que experimentan las tres cargas poseen en común el sentido y la trayectoria que describen es la misma, pero lo que cambia es el radio de giro de la órbita circular que se hace mayor cuando la velocidad es mayor. Podemos decir entonces que la velocidad de la carga es directamente proporcional al radio de la trayectoria.” (P10, anexo 6, 10).

El último ítem pretendió **caracterizar el movimiento de la carga en un campo eléctrico y un campo magnético**, ambos uniformes y perpendiculares entre sí y a la velocidad de ingreso de la carga; los estudiantes debieron considerar tanto cargas positivas como negativas. En sus respuestas:

F2 incorporó pantallas (las únicas de todo su informe) sin emitir afirmaciones verbales; en las pantallas modificó valores de E y B pero sin interpretar.

En tanto **F4** y **F9** mostraron una pantalla, y concluyeron “*Las trayectorias serán opuestas entre sí*”. (F4 y F9, anexo 6, 11)

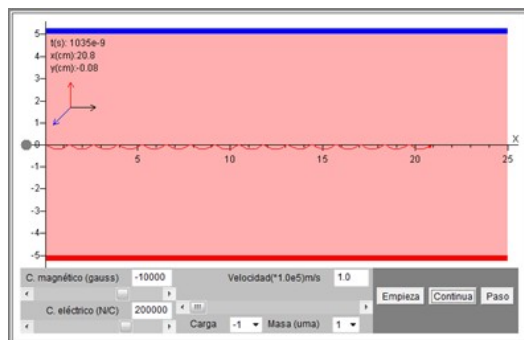
Figura 32: Pantalla ilustrativa del movimiento de la carga en presencia de campos eléctrico y magnético (F4 y F9, anexo 6, 11)



Entre las respuestas de los alumnos del grupo P:

“Nos resultó dificultoso el análisis ya que al variar los parámetros resultaban trayectorias diferentes...[...] La fuerza que ejerce el campo eléctrico se mantiene siempre constante en dirección, sentido y en módulo, apuntando en la dirección positiva del eje y, la fuerza que ejerce el campo magnético va a ir variando en dirección y sentido, ya que varía el sentido de la velocidad de la carga (de acuerdo al producto vectorial entre la velocidad y el campo). La fuerza resultante sobre la carga surge de la suma vectorial entre ambas fuerzas, esta fuerza es la que va a permitir inferir la trayectoria.” (P2, anexo 6, 11)

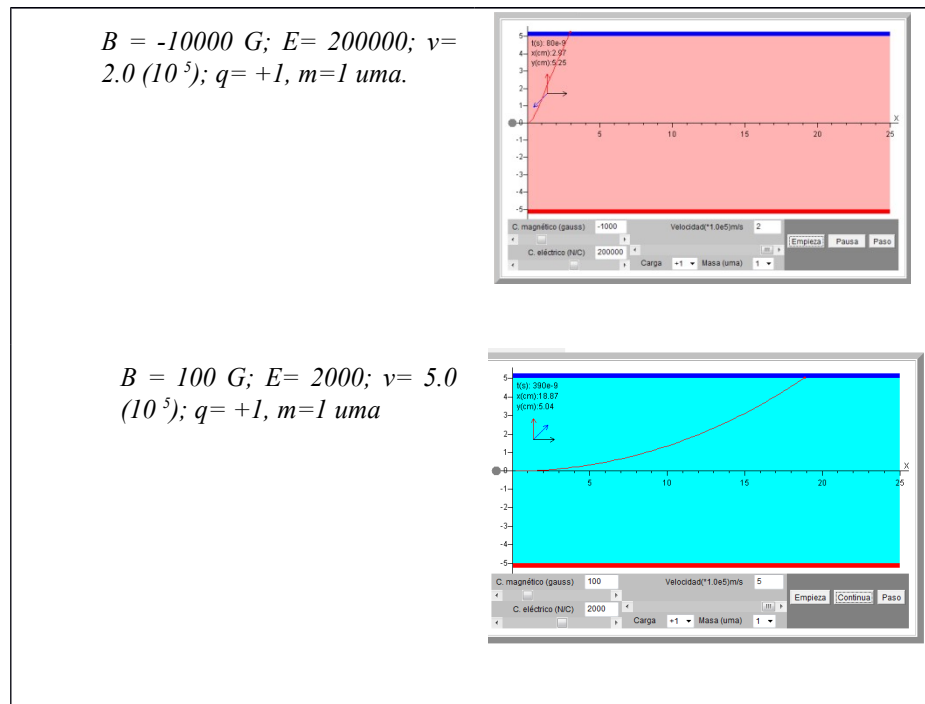
Figura 33: Pantalla ilustrativa del movimiento de la carga en presencia de campos eléctrico y magnético (P2, anexo 6, 11)



La respuesta del estudiante **P7:**

“En una región del espacio existen un campo eléctrico y un campo magnético perpendiculares entre sí, la fuerza combinada que actúa sobre una partícula con carga q y velocidad v es $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$. Como la fuerza magnética depende de la velocidad pero no así la fuerza eléctrica, la fuerza total no será cero para partículas que lleven una velocidad diferente. Una partícula cargada positivamente que lleve mayor velocidad sentirá una fuerza magnética mayor que la fuerza eléctrica por lo que será desviada hacia abajo. Igualmente si la carga positiva viaja con menor velocidad será desviada hacia arriba” (P7, anexo 6, 11)

Figura 34: Movimiento de la carga en presencia de campos eléctrico y magnético (P7, anexo 6, 11)



En tanto a la respuesta del estudiante **P10**:

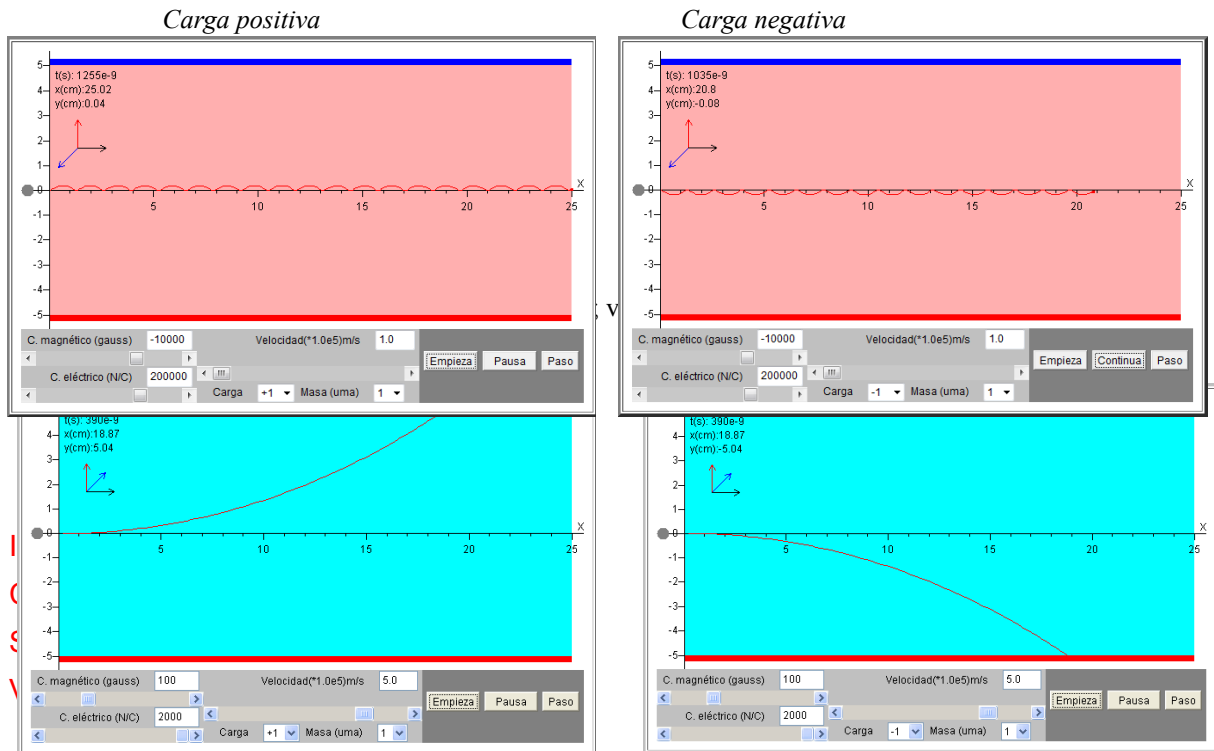
“Ambos campos ejercen fuerzas sobre la carga. Sin embargo hay algunas diferencias entre ellas:

- *La fuerza que ejerce el campo eléctrico E , se mantiene siempre constante en dirección, sentido y en modulo, apuntando en la dirección positiva del eje y .*
- *En cambio, la fuerza que ejerce el campo magnético B , va a ir variando en dirección y sentido, ya que varía el sentido de la velocidad de la carga (de acuerdo al producto vectorial entre la velocidad y el campo).*

La fuerza resultante sobre la carga surge de la suma vectorial entre ambas fuerzas, esta fuerza es la que va a permitir inferir la trayectoria que va a variar según los valores de los parámetros y el signo de la carga” (P10, anexo 6, 11)

Figura 35: Movimiento de la carga en presencia de campos eléctrico y magnético (P10, anexo 6, 11)

$$B = -10000 \text{ G}; E = 200000; v = 2.0 (10^5); q = +1, m = 1 \text{ uma.}$$



Respecto a las opiniones personales sobre las posibles “bondades” del simulador:

“El simulador es una herramienta muy útil ya que nos permite visualizar de una mejor forma como interactúa una partícula con los diferentes campos. Es bastante fácil de usar lo que hace más cómodo el trabajo, además de que podemos interactuar con los diferentes parámetros para observar como se ve afectada la partícula” (F9, anexo 6, 12).

Los alumnos del grupo P reconocieron, en la potencialidad del simulador, la posibilidad de:

“[...] observar trayectorias descritas por una carga sometida a dos campos diferentes, uno eléctrico E y el otro magnético B. Algo que analíticamente o manualmente es muy difícil de determinar” (P10, anexo 6, 12).

3.3.1.7. SEGUNDA FASE. TERCERA PARTE: POST LABORATORIO MOVIMIENTO DE CARGAS EN CAMPO MAGNÉTICOS UNIFORMES

En la tercera parte se pretendió ofrecer a los alumnos situaciones que debieran resolver mostrando la disponibilidad (total, parcial o nula) de representaciones cercanas a las científicas de los significados relativos al campo conceptual del concepto **movimiento de cargas en campos magnéticos uniformes**. El alumno F9 resolvió una situación diferente a los demás, por no asistir el día de la prueba; sin embargo es posible analizar IO en la misma.

En la tarea de **representar el campo magnético en diferentes regiones** a partir del análisis de la trayectoria de un electrón, el alumno **F2** dibujó correctamente, sin reconocer el campo magnético nulo (región II). El alumno **P10** pareció confundir el signo de la carga, pues su representación es correcta considerando una carga positiva en movimiento. El estudiante **P2** representó todas las regiones correctamente, mientras que **P7** representó líneas de campo que no corresponden a la trayectoria dibujada. A modo ilustrativo las siguientes figuras:

Figura 36: Representación pictórica totalmente correcta del campo magnético (P2, anexo 7, a)

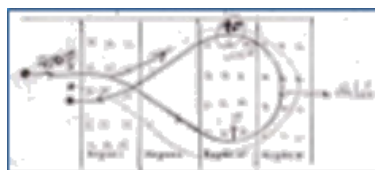


Figura 37: Representación pictórica parcialmente correcta del campo magnético (F2, anexo 7, a)

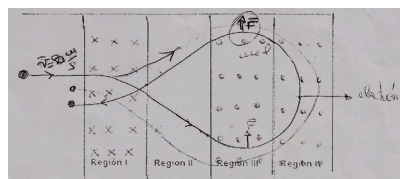
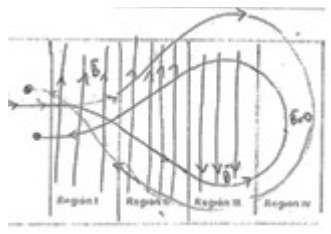


Figura 38: Representación pictórica incorrecta del campo magnético (P7, anexo 7, a)



La **segunda tarea** tenía como objetivo que los alumnos infirieran el **valor de la rapidez** en las regiones I y II, lo cual permitiría conocer sobre las representaciones de los estudiantes de los efectos del campo magnético sobre la velocidad. Así, los estudiantes **F2** y **P2** reconocieron que la magnitud de la velocidad es la misma que la de ingreso a la primera región, argumentando desde conceptos del campo conceptual: “*Porque un campo magnético cambia la dirección de la velocidad pero no su rapidez*”(F2, anexo 7, b), o argumentando de manera irrelevante: “*porque es constante*”(P2, anexo 7, b).

El estudiante **F4** reconoció que la rapidez no cambia en la región II “*la velocidad es constante por no haber campo que afecte su trayectoria*”(F4, anexo 7, b), pero para la región I realizó un cálculo (incorrecto e irrelevante) de la velocidad: “*Región I : $1,75 \cdot 10^{11} \text{ C RB/kg}$ porque $V = RqB/m$* ” (F4, anexo 7, b).

P7 sólo respondió para la región I y lo hizo correctamente, en tanto **P10** reconoció que en ambas regiones la rapidez era de 90 m/s:

“ $|\vec{v}|=90 \text{ m/s}$ [en las dos regiones]...*porque la velocidad es constante, ya que la $\vec{a}=0$, pues si fuera distinta de cero existiría otra fuerza actuante dependiente de la masa. Esta es despreciable porque la masa es ínfima*” (P10, anexo 7, b).

En la tarea de **ordenar las magnitudes de los campos magnéticos** y fundamentar el criterio elegido, sólo **F2**, **F4** y **P10** lo hicieron correctamente. Las fundamentaciones de estos estudiantes fueron:

“Porque $B = mv/qr$, mientras más grande es el radio menor será la intensidad de B ” (F2, anexo 7, c)

“El criterio es tener en cuenta la relación entre el campo y el radio de la órbita.

$$F = qvB = \frac{mv^2}{R} \rightarrow R = \frac{mv}{qB} \quad \text{” (F4, anexo 7, c)}$$

“II < I < III = IV ...Utilicé el criterio de que R trayectoria $\propto mv/qB$, es inversamente proporcional al campo magnético. Región III = Región IV porque tienen el mismo radio.”

(P10, anexo 7, c)

Las respuestas de los estudiantes **P2** y **P7** fueron incorrectas. En el caso de **P2** al dar la ordenación del campo y la fundamentación inadecuada o imprecisa; en el caso de **P7** en la ordenación incorrecta, pues su fundamentación correspondió a un correcto criterio:

“Como el radio es inversamente proporcional al B manteniendo constante v , a mayor radio menor B ” (P7, anexo 7, c)

Figura 39: Fundamentación de la ordenación de la magnitud de los campos (P2, anexo 7, c)

$|F| = |q|v|B| \Rightarrow |F| \propto |B|$ y en la Región II no hay campo.

“El electrón sigue esa trayectoria porque una carga dentro de un campo magnético hace un

movimiento circular con radio $R = \frac{mv}{qB}$ ” (F2, anexo 7, d)

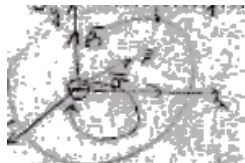
“Al tener un campo magnético el electrón experimenta una fuerza centrípeta que le da la trayectoria circular.” (F4, anexo 7, d)

“Porque la v es perpendicular al B y como B es entrante, la fuerza (por la regla de la mano derecha) da hacia arriba, pero al ser una carga – la fuerza es hacia abajo” (P2, anexo 7, d)

“Porque el campo ejerce una fuerza sobre el electrón igual a $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ donde el sentido de la misma por la regla de la mano derecha para el producto vectorial es hacia arriba, pero al tener el electrón carga negativa cambia el sentido hacia abajo. Además $\vec{F} \perp \vec{v}$ y \vec{v} es tangente a la trayectoria. Además \vec{F} es una fuerza centrípeta su sentido señala el centro de la trayectoria circular. En la parte inferior de la región I la fuerza cambia el sentido debido a que la velocidad tangente a la trayectoria viene en otro sentido desde la región II.” (P10, anexo 7, d).

El estudiante P7 recurrió a representaciones pictóricas para complementar su respuesta:

Figura 40: Respuesta gráfica y verbal del estudiante (P7, anexo 7, d)



“Porque su sentido viene dado por las agujas del reloj (sentido horario). La fuerza está dada $-k$.”

Al representar la fuerza que actúa sobre la carga al pasar por una región de campo magnético, las respuestas de los estudiantes F2, F4, y P10 fueron correctas, en tanto que la respuesta de P2 resultó incorrecta y la de P7 descontextualizada. A modo ilustrativo:

Figura 41: Representación pictórica correcta de la fuerza sobre la carga eléctrica (F2 y F4, anexo 7, e)

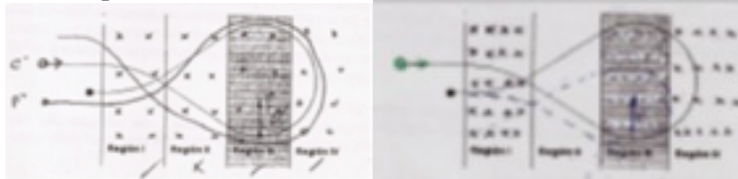


Figura 42: Representación correcta de la fuerza sobre la carga eléctrica (P10, anexo 7, e)

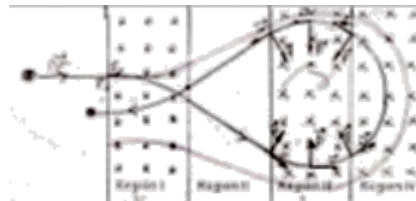


Figura 43: Representación incorrecta de la fuerza sobre la carga eléctrica (P2, anexo 7, e)

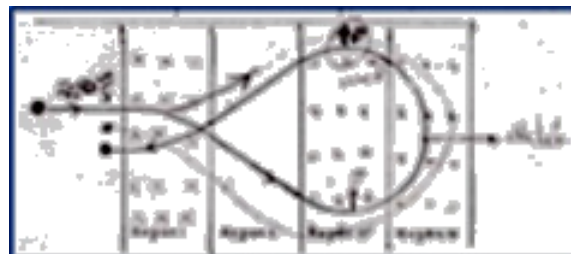
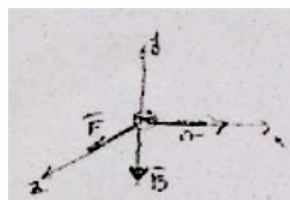
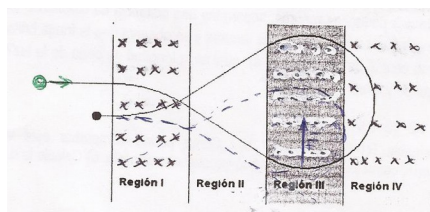
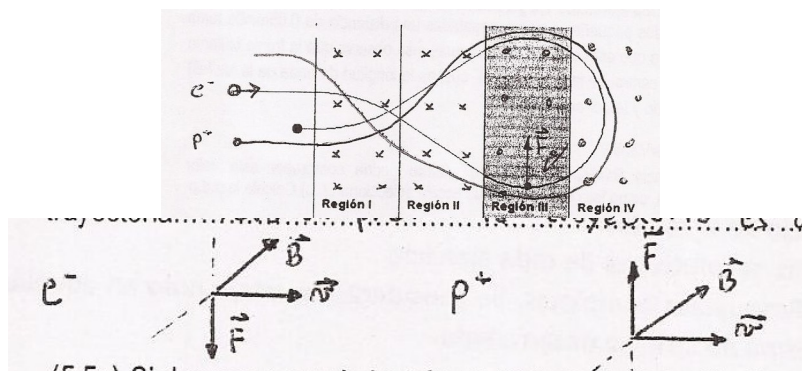


Figura 44: Representación descontextualizada de la fuerza sobre la carga eléctrica (P7, anexo 7, e)

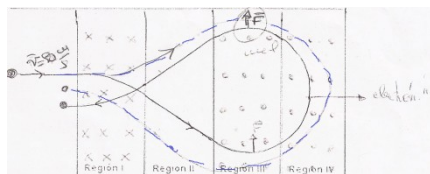


En la consigna de **dibujar la trayectoria que seguiría un protón en este mismo campo**, y justificar la misma, todos los estudiantes reconocieron que la trayectoria sería distinta, y sus respuestas fueron:

Figura 43: Representación y justificación de la trayectoria del protón (F2, anexo 7, f)

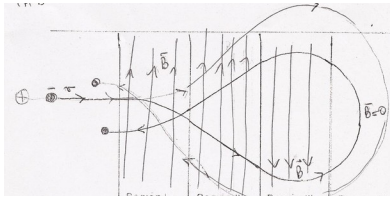


“La trayectoria sería inversa ya que la fuerza estaría dirigida hacia otro lado” (F4, anexo 7, f)

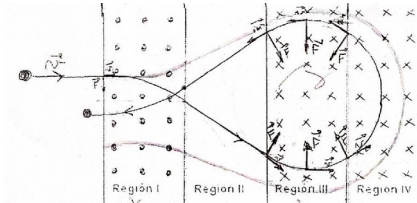


“La fuerza de cada región cambia el sentido, porque al ser una carga + (por regla de la mano derecha) con v y B , la fuerza queda como da la regla: o sea opuesta a la del electrón.” (P2, anexo

7, f)



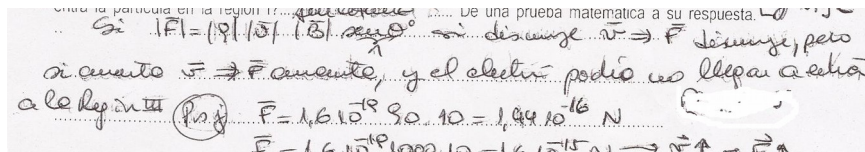
“Lo que cambiaría sería el sentido, que sería antihorario. El agrandamiento sería $R \propto m$ ” (P7, anexo 7, f)



“La fuerza cambia de sentido al ser $q > 0 \rightarrow \vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$ cambia; es opuesta a la del electrón. Además en esta $F_{centrípeta}$ el radio $R \propto m \rightarrow$ si es un protón la masa aumenta y por ello el radio de la trayectoria también lo hace (en las regiones donde $|\vec{B}| \neq 0$): donde $B = 0$ la trayectoria sigue siendo la de un MRU” (P10, anexo 7, f)

En la consigna de decidir cómo debería cambiar la velocidad del electrón para que no ingresara en una región, sólo el estudiante P2 respondió de manera ambigua e incorrecta:

Figura 44: Respuesta ambigua e imprecisa (P2, anexo 7, g)



Los demás estudiantes reconocieron que era necesario disminuir la velocidad, y mientras que F4 no brindó justificación. Las justificaciones dadas fueron:

“...disminuyo v porque como $F = qvB = mv^2/r \rightarrow r = mv/qB$ si disminuyo v el radio disminuye.” (F2, anexo 7, g)

“Disminuiría la velocidad...pues el radio de la circunferencia es proporcional con la velocidad, entonces si disminuyo la velocidad disminuye el radio y por tanto no entraría en otras regiones... $r = mv/qB$ ” (P7, anexo 7, g)

“Disminuiría... si disminuyo la velocidad disminuye el radio R de la trayectoria, entonces se torna una circunferencia pequeña en la región I sin permitirle al electrón pasar a la región II”. (P7, anexo 7, g)

3.3.2. Interpretaciones y conclusiones parciales.

3.3.2.1. FASE INICIAL (DIAGNÓSTICO GENERAL)

Una caracterización inicial del grupo indica el uso, por parte de los estudiantes, de posibles invariantes operatorios físicos (IOF) “*posición, trayectoria, movimiento, desplazamiento, fuerza, velocidad, masa, gravedad y trabajo*”. Estos invariantes representan significados y relaciones construidas con anterioridad en el campo conceptual de la Mecánica.

Entre los posibles invariantes operatorios matemáticos (IOM) empleados por los estudiantes en sus explicaciones escritas, se encuentran las conceptualizaciones iniciales de: ecuación, vector, concavidad y ceros de una función cuadrática, gráfico de una función, campo conservativo. Un solo alumno utiliza el término “integral de línea”.

Frente a las situaciones presentadas, los estudiantes evidenciaron disponer de conocimientos matemáticos para graficar funciones, operar con vectores en coordenadas, identificar la expresión algebraica del modelo a partir de la gráfica.

Entre las representaciones del campo conceptual de la Física (RF) puestas en juego por los estudiantes, se encuentran: *pictóricas* (los diagramas de cuerpo libre, trayectoria) y representaciones *verbales* (se presentaron en la elaboración de afirmaciones de conocimiento, mayormente con reinterpretación de relaciones entre gráficas/fórmulas y conceptos físicos).

A su vez, entre las representaciones matemáticas (RM) empleadas por los estudiantes se encuentran las *gráficas* (de vectores fuerza y velocidad mediante flechas, las gráficas de trayectoria), la identificación de ejes coordenados.

También se presentan representaciones matemáticas *simbólicas* o *algebraicas* en fórmulas (alcance; ecuación horaria para movimiento rectilíneo), trabajo de una fuerza (constante).

Al trabajar con campos vectoriales, se observa de las respuestas de los alumnos que éstos parecieran disponer de los IOM para hallar campos vectoriales por tabla. La mayoría de los estudiantes parece disponer de los IOM necesarios para asignar a cada punto del espacio un vector (el “valor” de la función), esto significa: poder identificar a los puntos del plano mediante sus coordenadas, y luego emplear sus valores de manera adecuada para hallar la función en cada punto.

Figura 45: Tabla de obtención de imágenes de función (F4, anexo 1, f.a)

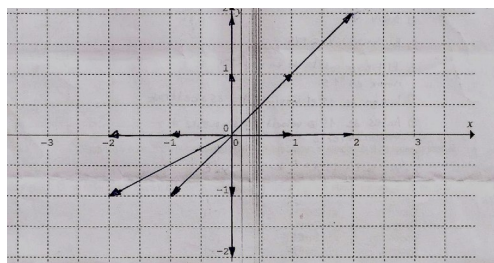
x(m)	y(m)	$F(x,y)$
0	0	$\vec{0}$
0	1	$1 \hat{i}$
0	2	$2 \hat{i}$
0	-1	$-1 \hat{i}$
0	-2	$-2 \hat{i}$
1	0	$1 \hat{j}$
2	0	$2 \hat{j}$
-1	0	$-1 \hat{j}$
-2	0	$-2 \hat{j}$
1	1	$1 \hat{i} + 1 \hat{j}$
2	2	$2 \hat{i} + 2 \hat{j}$
-1	-2	$-1 \hat{i} - 2 \hat{j}$
-1	-1	$-1 \hat{i} - 1 \hat{j}$

Así, por ejemplo, el alumno **F9** no realizó la operación anterior, sino que completó con el escalar módulo, es decir: identificó al IOF “fuerza”, y caracterizó al vector mediante el escalar que indica su magnitud. La respuesta de **F9** lleva a pensar que este alumno además de disponer de IOM como vectores, funciones, campos vectoriales, tiene la disponibilidad de asociarlos al concepto físico y asignar una propiedad matemática que caracteriza a esta

magnitud física (su módulo), pero para este alumno no está claro si logra diferenciar con precisión los vectores de los escalares, aspecto que habrá que indagar en otras situaciones.

Al representar gráficamente el campo vectorial en estudio, la mayoría de los alumnos dibujó vectores con origen compartido, es decir: vectores fijos en el origen de coordenadas (ver figura siguiente). Dentro de las dificultades se observa por ejemplo, que **P2** tendría incorporado el concepto de campo vectorial como función para poder asociar a cada punto del plano un vector (el que halló correctamente en la tabla), pero parece no disponer de los recursos para representarlo fuera del origen de coordenadas (es decir como vector equipolente).

Figura 45: Representación gráfica del campo vectorial realizada por F9 (F9, anexo 1, f.b)



En síntesis: esta dificultad para reconocer y visualizar campos vectoriales sencillos podría constituirse en un obstáculo al momento de interpretar el concepto físico de “movimiento en campo”, especialmente en campo eléctrico (por ser el primero en estudiarse), pues los alumnos que completaron correctamente la tabla de la función, no pueden trasladar a la gráfica esta información: el campo está para ellos localizado en el origen de coordenadas.

Las dificultades mostradas para graficar correctamente este campo vectorial aún para los alumnos que lograron representar analíticamente vectores es consistente con los resultados dados por Llancaqueo et al. (2003) y parecen indicar una falta de comprensión del concepto

de campo vectorial, y una escasa disponibilidad de relaciones entre las representaciones analíticas, simbólicas y gráfico-pictóricas.

Los alumnos no tienen disponible la representación de la relación para hallar el trabajo realizado por una fuerza variable: sólo recurren a la relación matemática de trabajo para fuerza constante: “ $W = Fd$ ” (**P2**, Anexo 1, e.c). Esta relación general (definición de trabajo de fuerza variable o campo vectorial) posiblemente no haya sido discutida en profundidad en el curso anterior de Física, pero sí fue enseñada en el curso de Cálculo. El no disponer de las relaciones de trabajo de fuerza variable, puede traer como consecuencia dificultades al interpretar el movimiento en campos, no por cálculo del trabajo, sino por la interpretación de la fuerza como un campo vectorial, que, si bien en los casos bajo estudio el campo electromagnético que la ejerce es uniforme, la fuerza en tanto vector puede estar cambiando de dirección y módulo punto a punto.

En particular, los estudiantes **F2**, **F4**, **P2** y **P7** no identificaron completamente la fuerza como un modelo de campo vectorial, variable punto a punto (como han hallado en la tabla). **P10** reconoció el significado de trabajo de una fuerza variable, y las relaciones matemáticas que le permiten calcularlo, trabajando con propiedad el uso de vectores:

$$“W = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{x} \text{ y el campo es conservativo si } \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{x} = \int_A^C \vec{F} \cdot d\vec{x} + \int_C^B \vec{F} \cdot d\vec{x} .” \text{ (P10,}$$

anexo 1, e.c)

Los posibles IOM científicos del tema indagado son: campo, integral de línea, derivadas parciales; y se relacionan con IOF como trabajo y fuerza conservativa. Los empleados por los alumnos son: trabajo de una fuerza constante, producto de escalares.

Los alumnos del grupo P reconocieron, en general, la descomposición de movimientos en los ejes coordenados (**principio de superposición**), sin embargo no parecen contar con los IOF (mediante relaciones) que les permitieran traducir este conocimiento en ecuaciones válidas para estudiar este movimiento. A modo ilustrativo, el estudiante P10 al referirse al movimiento horizontal de un proyectil escribió:

“Para calcular la posición horizontal debe emplearse la fórmula $x(t) = 100t - 4,9 t^2$ ” (P10, anexo 2, f)

3.3.2.2. PRIMERA FASE. PRIMERA PARTE: DIAGNÓSTICO DEL MOVIMIENTO DE PROYECTILES EN CAMPOS GRAVITATORIOS

En esta primera etapa diagnóstica específica de movimiento de cuerpos en campos uniformes, los alumnos en general manifiestan disponibilidad de los IOF (Invariantes operatorios físicos) y IOM (Invariantes operatorios matemáticos) necesarios para reconocer y describir el movimiento de un proyectil en un campo gravitacional uniforme. De sus respuestas parece estar instaurado el conocimiento que la fuerza “*hacia abajo*” es la que determina este movimiento con la trayectoria típica parabólica. También los estudiantes han reconocido como factor determinante de la trayectoria la velocidad y la dirección de ingreso al campo. No todos los alumnos pudieron identificar completamente trayectorias, reconociendo el concepto matemático de “eje coordenado”, esencial para la decodificación de gráficas; para los alumnos que no nombraron o nombraron incorrectamente los ejes coordenados al identificar la gráfica que corresponde a una trayectoria un posible IOF (como posible Teorema en acto) es “*curva parabólica corresponde a movimiento parabólico*” independientemente de que sea cada eje coordenado en la representación. Algunos alumnos

han logrado parcialmente el conocimiento de superposición de movimientos evidenciado en la adecuada representación de la trayectoria al modificar la velocidad de lanzamiento, aunque no lo puedan representar simbólicamente. El anterior es un conocimiento valioso dado que, si realmente los alumnos pueden resignificarlo, tendrían mayor disponibilidad de conceptos y relaciones para justificar trayectorias en presencia de otros campos, no necesariamente verticales hacia abajo, como son los que se estudiarán más adelante en el programa de la asignatura.

En un análisis particular de los distintos ítems: En el reconocimiento de la gráfica correspondiente a una trayectoria, **P2** y **P7** dieron respuestas intramatemáticas correctas, **P2** pareciera disponer de relaciones al ubicar los ejes coordenados para vincular con el fenómeno físico, cosa que no ocurre con **P7**. A modo ilustrativo, **P2** respondió: “representa una *parábola*” y llamó a los ejes coordenados “x-y”, mientras que **P7** sólo respondió “representa una *parábola*” (P7, anexo 2, 1) sin nombrar los ejes coordenados.

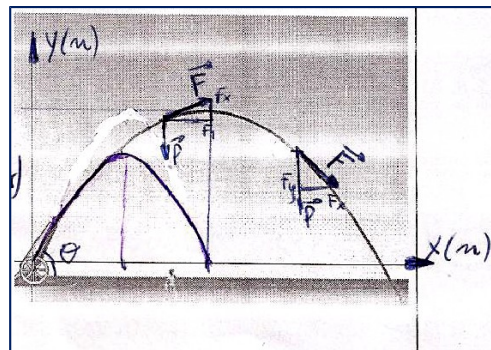
F4 y **P10** demostraron poseer el IOF con el significado “*trayectoria*”, pero **F4** nombró a los ejes “*MRU-MRUV*” es decir, no dispone de los significados matemáticos para caracterizar, desde la matemática, la trayectoria. **F2** no interpretó completamente: no colocó nombres de los ejes, así pareciera poseer de manera incipiente IOF relacionados al problema en estudio; mientras que **F9** simplemente reinterpreta la consigna en lenguaje verbal, sin aportar respuesta propia:

“*Una parábola que representa el movimiento de un proyectil*”(F9, anexo 2, 1).

Excepto **P7**, los alumnos reconocieron los factores que condicionan el movimiento de un proyectil en campo gravitacional uniforme, al seleccionar en primer lugar a la *velocidad* y al *ángulo de lanzamiento*; el estudiante **P7** seleccionó como factor relevante la masa.

Los estudiantes representaron adecuadamente la **interacción gravitacional** mediante vector fuerza, sólo **P10** dio una respuesta dudosa, como se ilustra en la siguiente figura. Así, estos alumnos que representaron bien la fuerza, recurrieron a representaciones pictóricas (es decir representaciones físicas) de la fuerza en diferentes puntos de la trayectoria y algunos las nombraron como vector, mostrando el reconocimiento de los significados de fuerza, gravedad, y las relaciones entre fuerza y trayectoria, y reconociendo el carácter vectorial de la magnitud.

Figura 47: Fuerza que actúa sobre el proyectil (P10, anexo 2, 3)



Todos los estudiantes disponen de los conceptos necesarios para reconocer el ángulo que proporciona máximo alcance en el lanzamiento del proyectil, sin embargo sus justificaciones son incorrectas o inexistentes, por ejemplo:

“...porque las funciones trigonométricas dan su máximo en 45° ”(F9, anexo 2, 4.a).

En las justificaciones prevalece el uso de expresiones algebraicas o relaciones verbales matemáticas, por ejemplo:

“ $\tan 45 = 1$ ”(F4, anexo 2, 4a).

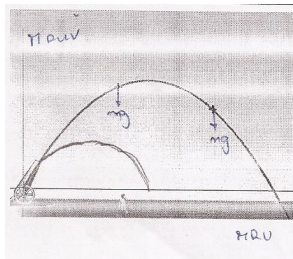
No todos los alumnos pudieron interpretar el alcance mínimo, y sólo **P10** y **F2** mostraron disponer de las relaciones necesarias para justificar correctamente. A modo ilustrativo:

“...la trayectoria estaría sólo en el eje y y la altura sería máxima...”(P10, anexo 2, 4b)

“...porque $\tan 0^\circ = 0$ ”(F4, anexo 2, 4b).

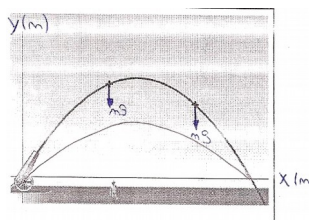
Para los alumnos **F2**, **F4** y **P10** la **superposición de movimientos** es un concepto parcialmente logrado, y para ellos un posible TA es la proporcionalidad directa. Esta afirmación se desprende de la representación de la trayectoria al reducir a la mitad la velocidad de lanzamiento, como puede verse en la figura siguiente.

Figura 48: Trayectoria luego de reducir a la mitad la velocidad de lanzamiento (F4, anexo 2, 5)



De las gráficas de **F9** y **P7** se evidencia que no han logrado construir el concepto de superposición de movimientos para explicar la modificación del alcance: mostraron reconocer la dependencia de la altura máxima con la velocidad de lanzamiento pero no tienen el concepto de superposición de movimientos para explicar la modificación del alcance. A modo de ejemplo la Figura siguiente ilustra la respuesta del estudiante **F9**:

Figura 49: Trayectoria luego de reducir a la mitad la velocidad de lanzamiento (F9, anexo 2, 5)



Los estudiantes **F4**, **F9**, **P2** y **P7** poseen los IOF necesarios para reconocer el fenómeno “movimiento de proyectil”, las fuerzas que actúan y sus efectos sobre el cuerpo en movimiento; también reconocen las características atractivas de la gravitación y pueden representarlo verbalmente. El alumno **P10** mostró disponibilidad de IOM (función cuadrática, coeficientes, gráfica) que le permitieron establecer relaciones con el fenómeno físico, asignar nombre al campo gravitacional e interpretarlo en el contexto matemático como puede observarse en el siguiente ejemplo:

Figura 50: Respuesta en lenguaje simbólico (P10, anexo 2, 6 y 7)

6) ¿Por qué la parábola tiene las ramas “hacia abajo”?

función cuadrática \Rightarrow $g = -9.8 \frac{m}{s^2}$ (porq^e se opone al eje y) \Rightarrow $y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0t + h_0$ \Rightarrow $y = -4.9t^2 + v_0t + h_0$ \Rightarrow $y'' = -9.8 = -g$

7) ¿Podría lograrse para un lanzamiento de proyectil que las ramas estén “hacia arriba”? Fundamenta tu respuesta.

No, porque se opondría al “principio de la fuerza de gravedad”. (Lanzar un cuerpo hacia abajo y que suba no sería razonable.)

Lo único, si realizamos un arreglo matemático y cambiamos los ejes coordenados, considerando y hacia abajo

Los alumnos **F4** y **F9** manifestaron disponer de los IOF correspondientes a significados de fuerza y gravitación, lo que se desprende de sus representaciones verbales, por ejemplo:

“[Las ramas de la parábola son hacia abajo] porque la única fuerza que actúa sobre el proyectil es \vec{g} , haciendo que tome la trayectoria parabólica” (F4, anexo 2, 6)

P2 mostró que poseer parcialmente los significados de movimiento de proyectiles. **P10** evidenció la disponibilidad de IOM (para interpretar ejes coordenados) e IOF tanto en forma de conceptos y relaciones, como de representaciones, que le permitieron justificar desde la contradicción y presentar calificadores modales. La falta de respuesta de **P7** indicaría que este alumno carece de significados y teoremas en acto para hacer interpretaciones de gráficas correspondientes a fenómenos físicos.

En síntesis, de las respuestas de los estudiantes a este diagnóstico correspondiente al movimiento de proyectiles en campo gravitacional uniforme, se desprenden los siguientes invariantes:

Posibles IOF (invariantes operatorios físicos):

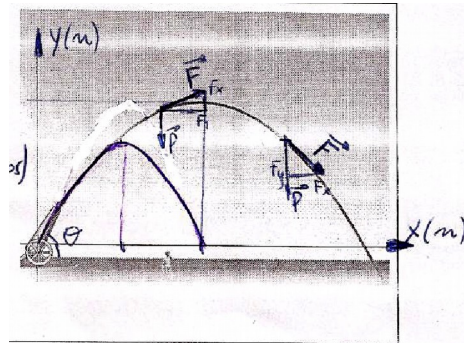
I) Significados

Reconocer el fenómeno físico en la gráfica y texto: todos los alumnos del grupo F reconocieron el fenómeno físico presentado (“*trayectoria*”, “*tiro parabólico*”, “*movimiento uniformemente variado*”) mientras que en el grupo P domina como identificación “*parábola*”. Este tipo de respuesta muestra el peso de la formación matemática en el reconocimiento de la gráfica, no logrando los alumnos del grupo P identificar gráfica con fenómeno. En los estudiantes del grupo P pareciera evidenciarse una pobreza en la existencia de invariantes operatorios físicos necesarios para establecer relaciones, lo que no se observa en los alumnos del grupo F.

Jerarquizar conceptos: La mayoría de los estudiantes jerarquizó correctamente los factores de los cuales depende el movimiento, dando prioridad al ángulo de lanzamiento y la velocidad de lanzamiento.

Identificar conceptos en el gráfico: En general los alumnos pudieron dibujar correctamente la fuerza actuante, reconociendo así la fuerza que determina la trayectoria observada. Algunas respuestas fueron imprecisas (dibujando pero no identificando con nombre la fuerza) o ambiguas (dibujando dos vectores, entendiendo que uno de ellos es la velocidad instantánea, pero denominado “fuerza”), como se muestra en la figura siguiente:

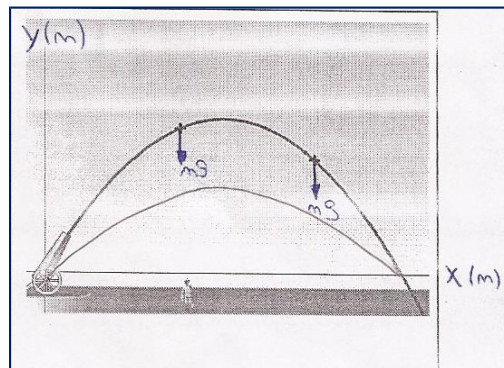
Figura 51: Fuerza que actúa sobre el proyectil (P10, anexo 2, 3)



II) Relaciones

Predecir comportamientos: En general los alumnos muestran disponibilidad de los conocimientos físicos y matemáticos necesarios para predecir, de manera aproximada, el movimiento de un proyectil ante el cambio de uno de los factores, sin embargo en sus respuestas no se evidencia un análisis minucioso de los efectos del cambio (ejemplo: relación con altura máxima, alcance). A modo ilustrativo, se muestra la siguiente figura:

Figura 52: Trayectoria si la velocidad de lanzamiento se reduce a la mitad (F9, anexo 2, 5)



Delas representaciones pictóricas de los estudiantes pueden inducirse los siguientes

Posibles Teoremas en Acto (TA):

-Proporcionalidad directa

Al reducir a la mitad la velocidad de lanzamiento:

“la altura es la mitad... el alcance es la mitad” (F2, anexo 2, 5).

“La velocidad de lanzamiento sólo afecta la altura máxima (se reduce a la mitad)”(F9, anexo 2, 5).

De las tareas de fundamentar comportamientos: Casi todos los alumnos explican que la curva es hacia abajo porque la gravedad “*tira hacia abajo*” (F4, F9, P7, anexo 2, 6); algunos aluden al “*signo*” de la gravedad, asumiéndolo negativo (F2, anexo 2, 6) (estos alumnos no consideran la dependencia de los signos de las componentes con el sistema de coordenadas elegido para la descripción).

Los alumnos en general argumentan que es imposible cambiar la concavidad de la gráfica pues la gravedad siempre señala en el mismo sentido.

Posibles TA:

-La gravedad señala hacia abajo (algunos mencionan la “ley de la gravedad” como una ley física, como sinónimo de la ley de gravitación universal), (F4, F9, P7, anexo 2, 6)

-La gravedad es negativa. (F2, P10, anexo 2, 6).

-Si algo sube, debe caer (argumento intuitivo) (P2 y P10, anexo 2, 6).

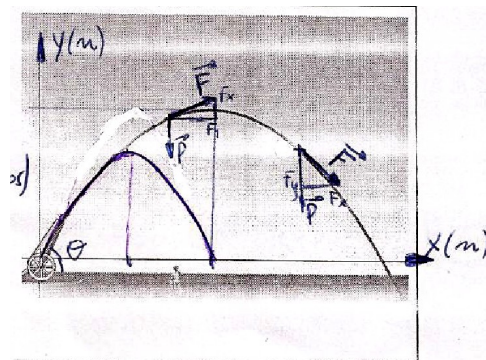
IOM (invariantes operatorios matemáticos):

I) Significados:

Identificar y representar magnitudes vectoriales:

Casi todos los estudiantes identifican correctamente la fuerza como magnitud vectorial y la representan. Sólo un alumno representa vectores que hacen pensar en que confunde fuerza con velocidad (tangente a la trayectoria) o con aceleración de la gravedad, como se ilustra en la figura siguiente.

Figura 53: Respuesta del estudiante P10 a la consigna de dibujar la fuerza



Identificar funciones a partir de la gráfica: de las respuestas de los estudiantes todos reconocen, en distintos momentos de la situación, la gráfica como la representación de una función cuadrática. A modo de ejemplo, la respuesta inmediata de P2:

Figura 54: reconocimiento de parábola a partir de la gráfica (P2, anexo 2, 1)

1) La siguiente pantalla ilustra el movimiento de un proyectil, lanzado por un cañón desde la superficie de la Tierra en ausencia de resistencia del aire. ¿Qué representa?

Una parábola, con ramas hacia abajo.

II) Operaciones y propiedades:

Interpretar parámetros:

Al momento de presentar la “nueva trayectoria”, la mitad de los alumnos representó correctamente otra parábola con *ramas hacia abajo*, *menor abertura* y *menor “altura”* (F2, F4, P10, anexo 2, 5). Pareciera que un TA para el grupo es “*el movimiento de proyectiles corresponde a una parábola*”.

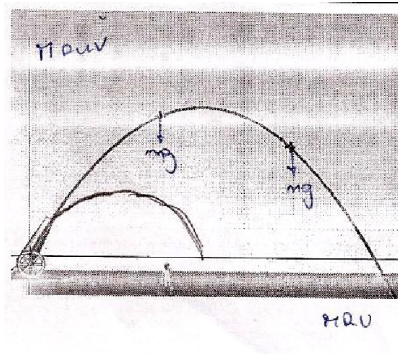
A su vez una regla de inferencia explicitada, denotaría que parte del significado construido se constituye a partir del TA -proporcionalidad directa- asumiendo que: “*cuanto menor es la velocidad menor es la abertura*” (F2, F4, F9, P7 y P10, anexo 2, 5).

RF (representaciones físicas):

I) Representaciones pictóricas: Excepto P10, los demás alumnos de ambos grupos identifican correctamente la fuerza como magnitud vectorial y la representa (F2, F4, F9, P2, P7, anexo 2, 3).

No todos los alumnos pueden reconocer completamente la gráfica, como trayectoria, mediante asignación de nombres a los ejes coordenados (F2, F4, P7, anexo 2, 1). La siguiente figura ilustra la afirmación:

Figura 55: Asignación de nombre a los ejes coordenados (F4, anexo 2, 1)



II) Representaciones verbales lingüísticas: Menos de la mitad del alumnado predice correctamente la dependencia de la trayectoria con el ángulo de lanzamiento. La predicción tiene mayor número de respuestas correctas para el lanzamiento con alcance máximo.

En general no hay argumentos elaborados para avalar las respuestas, las mismas suelen reducirse a la formulación de la ley que actúa como garantía:

“No podemos desafiar las leyes de gravedad” (F9, anexo 2, 7),

o a respaldos de tipo intuitivo:

“Si lanzo algo debe caer...” (P2, anexo 2, 6).

El estudiante **P10** presentó, de manera incipiente, representaciones lingüísticas de tipo proposicional:

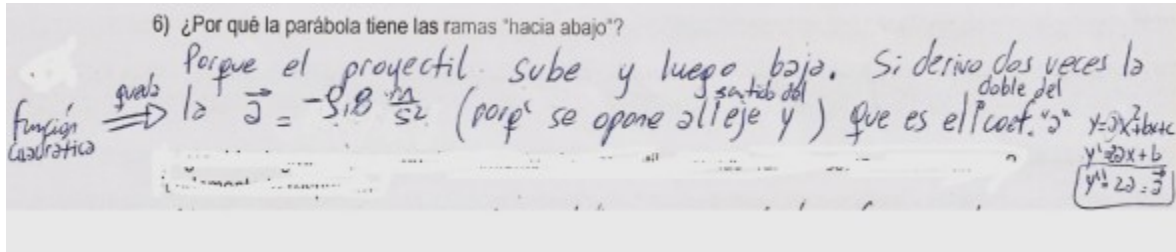
“Si elegimos el eje y hacia abajo...” (P10, anexo 2, 7).

RM (representaciones matemáticas):

I) Representaciones pictóricas: No todos los alumnos pudieron representar adecuadamente una parábola (en general no se muestra la característica de simetría que es propia, o el punto vértice) (por ejemplo F2, anexo 2, 5). Algunos estudiantes no representaron adecuadamente a la fuerza en una trayectoria (Por ejemplo, P10, anexo 2, 3).

II) Representaciones algebraicas: Pocos alumnos dan cuenta de sus razonamientos y respuestas empleando expresiones simbólicas (por ejemplo $\mathbf{P} = m\mathbf{g}$ al momento de graficar vectores; o expresiones de la función trayectoria, P10 en el anexo 2, 6).

Figura 56: Representaciones algebraicas (P10, anexo 2,6)



3.3.2.3. PRIMERA FASE. SEGUNDA PARTE: LABORATORIO VIRTUAL MOVIMIENTO DE CARGAS EN CAMPO ELÉCTRICO UNIFORME

En esta actividad los alumnos presentaron respuestas con diferentes niveles de argumentación en las cuales emplearon, esencialmente, la representación lingüística. Las respuestas mostrarían que los alumnos F9 y P10 han adquirido un importante nivel de apropiación del concepto “movimiento de cargas en campo eléctrico uniforme”. De las respuestas de los alumnos F2, F4 y P7 se desprende que los mismos han logrado una débil apropiación del concepto, lo que se evidenció en respuestas que aluden fuertemente a IOF del campo conceptual de la Mecánica. Las respuestas del estudiante P2 no permiten emitir juicio, pues en algunos momentos pareciera reconocer y poner en representaciones de los principales significados y relaciones del tema, pero en otros presenta respuestas ambiguas o poco claras.

Entre los alumnos del grupos F un posible TA es la denominada en este trabajo “**ley de cargas**” (ley de atracción/repulsión entre cargas según su signo), argumento también

presentado en algunos casos por el estudiante P2, mientras que P7 y P10 hicieron referencia en todas sus explicaciones a la **relación carga-campo-fuerza**. Los alumnos, P7 y P10, muestran una diversa apropiación de IOM, reflejados en la escasa argumentación algebraica. Siguen dominando en todo el grupo las explicaciones de tipo cualitativas al momento de predecir comportamientos al modificar factores, sin establecimiento de relaciones cuantificables; en estas explicaciones prevalecen las respuestas “*si es más grande...*”, “*si aumenta...*”, las cuales no sólo son cualitativas sino que tampoco se cotejan con el uso de la herramienta virtual para inducir comportamientos cuantificables, dando indicios de posible TA “**proporcionalidad directa**”. Los alumnos P7 y P10 muestran una mayor disponibilidad de representaciones en sus argumentos, haciendo uso de lenguaje verbal, simbólico y pictórico, mientras que P2, F4 y F9 sólo recurren al argumento verbal, y F2 al verbal e icónico.

Para ilustrar lo anterior, se desarrollan las interpretaciones de las tareas de esta etapa:

En una primera actividad se pretende que el alumno prediga comportamientos referidos al movimiento de una carga en ausencia de campo eléctrico, y en una segunda actividad, el movimiento de una partícula sin carga que ingresa en un campo eléctrico. Para sus explicaciones iniciales los alumnos **F2**, **F4** y **P7** recurrieron a conceptos mecánicos (movimiento, aceleración, velocidad, fuerza), sin reconocer (al menos explícitamente) el concepto de campo; por ejemplo:

“[la carga en ausencia de campo eléctrico realizará] *MRU...Porque no hay fuerzas que actúen sobre la carga.*” (F2, anexo 3, A1).

F9, **P2** y **P10** mostraron una incipiente conceptualización del movimiento de cargas en campos, aludiendo en sus explicaciones a conceptos físicos del campo conceptual de la

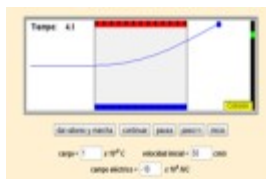
Mecánica y del Electromagnetismo (movimiento, fuerza, aceleración, campo y sus relaciones). **F9** y **P10** manifestaron disponibilidad del concepto de campo y la mostraron en representaciones lingüísticas proposicionales, y en particular **P10** elaboró argumentaciones empleando tanto representaciones verbales como algebraicas. La siguiente respuesta ilustra lo anterior:

“[la carga en ausencia de campo eléctrico...] Esperamos observar una trayectoria rectilínea, dirigida hacia la derecha porque no existe ninguna fuerza que actúe sobre la carga. La carga realizará un MRU porque no hay aceleración y por lo tanto la velocidad es constante. $F = q \cdot E$, si $E = 0$, luego $F = q \cdot 0 = 0$ ” (P10, anexo 3, A1)

En el ítem de “diseño de actividad” por parte de los estudiantes para ser respondida usando el simulador, en general las respuestas de los alumnos consistieron en actividades para determinar el signo de la carga eléctrica. Las respuestas de los estudiantes **P7** y **P10** manifestaron una alta disponibilidad de los conceptos de movimiento de cargas en campos, lo que se evidenció al: elaborar la propuesta, contrastarla, anticipar mediante condicionales otras situaciones, dar explicación verbal empleando como conceptos: carga, campo, fuerza, aceleración. Una respuesta fue:

“La actividad consistirá en observar ¿cuál es la trayectoria de la partícula? al darle un valor determinado a la carga y al campo eléctrico.

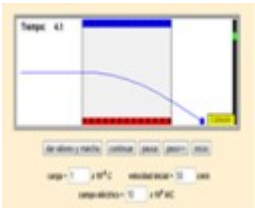
Si el campo fuese positivo y la partícula se dirigiese hacia arriba, esto indicaría que el signo de la carga es “positivo”, por el contrario, si se dirigiese hacia abajo sería negativa



Al ejecutar la propuesta en el simulador podemos observar que éste nos limita a trabajar solamente con electrones.

Podemos observar que en la Fig. 1 tenemos un campo eléctrico vertical con sentido hacia arriba, entonces el electrón choca con la placa positiva ya que la

fuerza que se ejerce sobre la carga es opuesta al campo y por lo tanto la aceleración tiene el mismo sentido que la fuerza].



En la Fig. 2 tenemos un campo eléctrico vertical con sentido hacia abajo, entonces el electrón choca con la placa positiva ya que la fuerza que se ejerce sobre la carga es opuesta al campo y por lo tanto la aceleración tiene el mismo sentido que la fuerza.”. (P7, anexo 3, C2)

En tanto que para esta misma actividad, las respuestas de **F2**, **F4** y **F9** en sus argumentos (menos elaborados que el citado en el ejemplo anterior) hicieron mención a la “ley de cargas”, como ilustra la siguiente respuesta:

“Una carga de $5 \cdot 10^{-8} \text{C}$ atraviesa un campo eléctrico de $-4 \cdot 10^4 \text{N/C}$.

Con esta actividad, podemos deducir el signo de la carga, observando hacia que placa se dirige la misma. En este caso, la carga se dirigió hacia la placa positiva, indicándonos que posee carga negativa” (F9, anexo 3, C2).

De esta tarea de “diseño de actividad”, surge para los alumnos **P7** y **P10** como posible TA la “**relación entre fuerza y campo: $F = qE$ ”, de mayor nivel de abstracción que la “ley de cargas”** esgrimida por **F2**, **F4** y **F9**. El alumno **P2** utilizó en su respuesta un concepto matemático: la concavidad de la curva.

Al indagar sobre la relación de la trayectoria con velocidad, las respuestas ambiguas de **F2** y **F4**, por ejemplo:

“Al aumentar la velocidad inicial de la carga, esta se va a desviar hacia la placa cargada con el signo opuesto con mayor lentitud” (F4, anexo 3, A4),

mostrarían que estos alumnos no habrían incorporado los conceptos mecánicos básicos de movimiento de proyectiles.

F9 brindó un razonamiento que mostró interpretación de la superposición de movimientos, y el reconocimiento de la fuerza eléctrica, al explicitar:

“El movimiento de la carga se vería afectado solo en el alcance que esta logra, pero demorara el mismo tiempo ya que la fuerza que lo atrae hacia la placa se mantiene constante a lo largo de la trayectoria” (F9, anexo 3, A4).

La respuesta de **P2** fue sencilla aludiendo a la proporcionalidad directa:

“Si la velocidad inicial disminuye: el recorrido en x disminuirá, y las ramas de la parábola serán más cerradas. Si la velocidad inicial aumenta: el recorrido aumentará y las ramas serán más abiertas” (P2, anexo 3, A4).

Los alumnos **P7** y **P10** consideraron la relación correcta alcance-velocidad, como expresaron en sus respuestas:

“Si le damos valores distintos a la velocidad inicial, el alcance también se modifica; ya que el alcance máximo de la carga es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad inicial de la carga” (P7, anexo 3, A4).

Cuando los estudiantes estudiaron los efectos sobre la trayectoria al modificar el campo y la carga (no simultáneamente), **F2** y **F9** respondieron desde la “proporcionalidad”: el estudiante **F2** mostró reconocer la **relación fuerza-campo-carga**, la cual empleó de manera verbal como garantía de sus respuestas, sin proponer una relación funcional entre los parámetros, en tanto que el estudiante **F9** además de la relación carga-fuerza-campo, introdujo la variable mecánica *tiempo* en sus explicaciones cualitativas. A modo de ejemplo:

“[Si el campo eléctrico se duplica] La trayectoria será más corta y demorará menos tiempo en colisionar ya que la carga es atraída con mayor fuerza por el campo” (F9, anexo 3, A6).

F4 continuó recurriendo a la “**ley de cargas**” como posible TA, lo que se justifica desde la expresión siguiente:

“Al duplicarse el campo eléctrico la trayectoria de la carga se desvía hacia la placa de signo contrario en menor tiempo. Porque el campo es directamente proporcional a la carga lo que significa que la carga es mayor y hay mayor atracción entre cargas opuestas”(F4, anexo 3, A6).

Los alumnos del grupo F en general consideraron que el efecto de modificar la carga es una modificación de la fuerza y por tanto un “estrechamiento” en la parábola representativa de la trayectoria:

“La trayectoria va a ser más corta”(F2, anexo 3, A3).

Ante la misma situación anterior, los alumnos del grupo P cuantificaron los efectos de las modificaciones de carga y campo, aunque recurriendo a diferentes garantías: **P2** aludió a la Ley de Coulomb, y desprendió un razonamiento deductivo involucrando variables dinámicas, razonamiento inválido por partir de una garantía falsa:

*“Al aumentar la carga al doble, la fuerza aumentará el doble por **ley del Coulomb**, luego como la aceleración es directamente proporcional a la fuerza esta también aumentará al doble. Como el recorrido en el eje “x” es inversamente proporcional a la aceleración este disminuirá a la mitad. Por lo que se confirma que el recorrido disminuye a la mitad al duplicar la carga” (P2, anexo 3, A3).*

Los estudiantes **P7** y **P10** analizaron verbalmente las consecuencias de las modificaciones, empleando tanto variables dinámicas como el concepto de campo:

“Al duplicar la carga, el módulo de la fuerza será el doble, por lo tanto la aceleración que adquiere la carga también se duplica por lo que el tiempo que tarde la carga en chocar con la placa será menor, y el alcance máximo será la mitad” (P10, anexo 3, A3).

Ningún alumno estableció relaciones empleando lenguaje simbólico o algebraico.

Todos los alumnos, excepto **F2** que no respondió, reconocieron el cambio de trayectoria al invertir del campo: **F4**, **F9** y **P2** aludiendo a la “**ley de cargas**”, y **P7** y **P10** a la **relación fuerza-carga-campo**. En sus explicaciones los estudiantes continuaron recurriendo a la proporcionalidad, o proporcionalidad inversa, al cuantificar como “mitad” el efecto de “duplicar” la carga, por lo que se concluye que un posible **TA** para los estudiantes es “ley de cargas” y la “proporcionalidad”.

En las actividades en las que los alumnos debieron emitir conjeturas para discutir los efectos de cambio de parámetros, las conjeturas dadas por el alumno **F2** fueron muy generales y el estudiante consideró como conceptos relevantes para sus explicaciones, los de carga y movimiento, y dominó en sus respuestas el lenguaje verbal pero sin fundamentos, por ejemplo:

“ $q = -$; $v = +$; $E = +$ La carga se dirige hacia la placa positiva” (F2, anexo 3, actividad 7, I).

F4 presentó sus conjeturas en lenguaje numérico y simbólico y sus argumentos verbales fueron sencillos -alguno incorrecto, como el empleo de “ley de cargas”-, como conceptos clave de sus explicaciones recurrió a: carga, movimiento, campo, signos placas, trayectoria.

A modo de ejemplo:

“ q : +; v : 15; E : -. Al ser el campo negativo las cargas se dirigen hacia las placas con cargas positivas” (F4, anexo 3, actividad 7, I).

Las conjeturas de **F9** fueron las más elaboradas de los alumnos del grupo F: el estudiante presentó valores, y también argumentos verbales con conclusiones y respaldos. **F9** brindó argumentos en lenguaje verbal y consideró el cambio de más de una variable simultáneamente; como conceptos para sus explicaciones: carga, movimiento, campo, signos

placas, trayectoria parabólica, atracción, interacción. Las respuestas siguientes ilustran lo que se afirma:

*“ $q= 5*10^{-8}C$; $V= 50cm/s$; $E= 2*10^4N/C$. La carga tendrá una trayectoria parabólica prolongada, ya que tiene una velocidad considerable pero es atraída débilmente por el campo eléctrico. Posiblemente atraviese el campo eléctrico sin colisionar en las placas”. “ $q= 5*10^{-8}C$; $V= 10cm/s$; $E= -12*10^4N/C$. Al tener una velocidad inicial muy pequeña, la trayectoria será muy corta e invertida respecto a las anteriores. Y colisionara rápidamente con la placa positiva [debido a que habrá una fuerte interacción entre el campo y la carga” (F9, anexo 3, actividad 7, I).*

Las conjeturas de **P2** fueron semejantes a las de **F9**, aunque, a diferencia de **F9**, el estudiante **P2** cuantificó verbalmente algunos comportamientos. Como conceptos físicos utilizó: carga, fuerza, campo, aceleración, velocidad, recorrido en x, trayectoria, y como relaciones: Fuerza-campo y aceleración-fuerza. Por ejemplo:

“ $q: 1,6x10^{-8}C$; $v: 50cm/s$; $E: 10x10^4 N/C$. La carga describirá una trayectoria cóncava hacia abajo, se ejerce sobre la carga una fuerza en sentido opuesto al campo, por ende la aceleración irá en el mismo sentido que la fuerza” (P2, anexo 3, actividad 7, I).

Las propuestas de **P7** fueron expresadas empleando símbolos para representar las variables, y presentaron algunos errores en la interpretación verbal de variable dependiente e independiente, lo cual quita validez a sus argumentaciones; el estudiante muestra capacidad de reinterpretar conjeturas desde distintos puntos de vista (campo-fuerza-trayectoria-movimiento), así como criterios de organización de la información, selección y variación de parámetros; entre los conceptos empleados por este alumno están: carga, fuerza, campo, aceleración, velocidad, alcance, trayectoria, así como

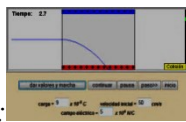
relaciones entre fuerza y campo, y entre aceleración y fuerza. A modo ilustrativo, la siguiente es una conjetura presentada por este estudiante:

“ Q , v , $2E$. El campo eléctrico es inversamente proporcional al alcance de la partícula, si el campo eléctrico se duplica, la trayectoria de la partícula se reduce a la mitad” (P7, anexo 3, actividad 7, I).

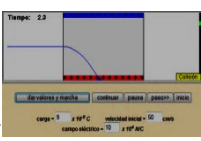
En tanto a las conjeturas del alumno **P10** fueron las más generales y sus argumentos más completos, mostrando este estudiante mayor disponibilidad de representación de significados y relaciones científicamente correctos tanto físicos como matemáticos: asignó símbolo a los conceptos y operó correctamente con ellos; entre los IOF empleados están los significados de carga, fuerza, campo, aceleración, velocidad, recorrido en x , trayectoria, y como relaciones físicas: campo-tiempo-alcance, Carga-alcance-tiempo, y Velocidad-alcance-tiempo. Por ejemplo:

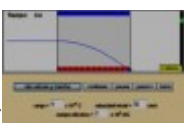
“Si q y v son constantes y E aumenta (disminuye), en la trayectoria el alcance disminuye (aumenta) y el tiempo en chocar con la placa disminuye (aumenta). Se verifica la conjetura en

el simulador:



Si aumentamos el campo:



Si disminuimos el campo:  ” (P10, anexo 3, actividad 7, I).

En los ítems en que los alumnos debieron decidir y justificar la verdad o falsedad, mostrando disponer de relaciones entre los diferentes significados inherentes al “concepto movimiento de cargas en campo eléctrico”, el estudiante **F2** dio como respuesta pantallas del simulador, sin incorporar representaciones lingüísticas ni simbólicas, evidenciando esta respuesta que: el estudiante considera suficiente la pantalla (lo cual no es cierto) o que carece de representaciones de los conceptos para elaborar explicaciones.

El estudiante **F4** argumentó verbalmente de manera parcial e incorrecta, mostrando una baja construcción de significados inherentes al concepto bajo estudio: sólo responde verbalmente la conjetura “Cuando mayor es la velocidad de la carga mayor es su alcance” recurriendo en su explicación a la “proporcionalidad” y las demás conjeturas las justifica con pantallas:

“Verdadero...Por fórmula el alcance es directamente proporcional a la velocidad” (F4, anexo 3, actividad 7, II).

El alumno **F9** fundamentó verbalmente todas las proposiciones aunque mostró limitaciones en su comprensión del fenómeno bajo estudio, al no reconocer la presencia de más de un factor simultáneamente (no está en condiciones de relacionar fuerza eléctrica, aceleración y alcance); por ejemplo: ante la conjetura “Cuando mayor es la velocidad de la carga mayor es su alcance” respondió:

“Verdadero, ya que el alcance está dado por la velocidad en X de la partícula y no por la fuerza con que es atraída por el campo” (F9, anexo 3, actividad 7, II).

P2 presentó argumentos verbales correctos y pantallas para validar, mostrando la disponibilidad de los significados de campo, fuerza, carga, velocidad, alcance y sus

relaciones; a modo de ejemplo, ante la conjetura “Al aumentar el valor de la carga disminuye su alcance” el estudiante respondió:

“Al aumentar el valor de la carga el alcance disminuye debido a que aumenta la aceleración y esta es inversamente proporcional al recorrido” (P2, anexo 3, actividad 7, II).

P7 presentó argumentos verbales correctos y pantallas para validar, mostrando la disponibilidad de los significados de campo, fuerza, carga, velocidad, alcance y sus relaciones, las que representó empleando lenguaje verbal y algebraico, haciendo deducciones matemáticamente correctas y pertinentes a la consigna; por ejemplo: “si el campo aumenta, el alcance disminuye”(P7, anexo 3, actividad 7, II).

Figura 57: Respuesta a la consigna “Al aumentar el valor del campo el alcance aumenta”(P7, anexo 3, actividad 7, II)



$$R = \frac{V_0 \cdot \text{sen} 2\Phi}{a} = \frac{V_0 \cdot \text{sen} 2\Phi}{\frac{2qE}{m}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_0 \cdot \text{sen} 2\Phi}{\frac{qE}{m}}$$

El alcance es $\frac{1}{2} \cdot \frac{V_0 \cdot \text{sen} 2\Phi}{\frac{qE}{m}}$, entonces si aumentamos la carga observamos analítica y gráficamente que el alcance disminuye.

El estudiante **P10** brindó argumentos verbales y simbólicos, además de icónicos con pantallas comparativas; en sus respuestas empleó relaciones de la Mecánica, como la primera y segunda ley de Newton, y otras propias del Electromagnetismo, como la relación entre

fuerza, carga y campo, como se ilustra en la respuesta siguiente a la conjetura “Al aumentar el valor del campo el alcance aumenta”:

“Falso. Porque al aumentar E aumenta la fuerza eléctrica sobre la carga ya que $F=q.E$ y aumenta la aceleración ya que $a=F/m$ entonces el alcance máximo disminuye en forma inversamente proporcional a la aceleración. Ya que $R=(v^2 \cdot \sin 2\Theta)/a$ ” (P10, anexo 3, actividad 7, II).

De las tareas anteriores se desprenden los siguientes posibles:

Posibles IOF (invariantes operatorios físicos):

I) Significados:

F4 y P7 brindaron explicaciones desde representaciones de los significados de fuerza, aceleración, tiempo y velocidad (eminentemente mecánicos), introduciendo tardíamente el significado de campo.

F9, P2 y P10 brindaron explicaciones desde representaciones de los conceptos campo, fuerza, aceleración, cambio de movimiento (incorporando significados de electromagnetismo).

F2 usó representaciones del concepto de campo de manera imprecisa.

II) Relaciones:

“ley de cargas” (cargas opuestas se atraen/la carga es atraída por la placa...). F2, F4, F9 y P2 en distintas situaciones (por ejemplo en las ya citadas referencias: F4, anexo 3, A2. F2, anexo 3, actividad 3. F9 y P2, anexo 3, A6).

“fuerza-carga-campo” F9, P2, P7 y P10 parecen identificar la relación entre campo eléctrico y fuerza eléctrica, es decir manifiestan disposición de estos conceptos para explicar la

trayectoria rectilínea y el tipo de movimiento. F9 y P10 usan la relación desde el principio, mientras que P2 y P7 van explicitando la misma conforme avanza la guía.

IOM (invariantes operatorios matemáticos):

I) Significados:

Concavidad (P2, anexo 3, actividad 3)

Vectores (dirección y sentido, P7 y P10 en anexo 3, actividad 3 y C6)

II) Operaciones y propiedades:

Producto de escalar por vector ($F = qE$; $F = ma$) (F2, P7, P10: Anexo 3, actividad 3, C6)

Observación: los alumnos –excepto P10 parcialmente- no validaron las relaciones con el simulador, sólo observaron el comportamiento global (ramas, sentido, aumenta, disminuye) pero no cuantificaron (es decir: ¿se reduce a la mitad? ¿se reduce a la cuarta parte?)

RF (representaciones físicas):

I) Representaciones pictóricas: pantallas ilustrativas del simulador (con representaciones de placas cargadas, sentido del campo eléctrico, trayectoria, partícula en movimiento). (Todos los estudiantes, en Anexo 3)

II) Representaciones verbales lingüísticas:

Proposiciones:

“Si la trayectoria no fuera recta, nos encontraríamos en presencia de un campo eléctrico” (F9, anexo 3, A1)

“Al ser más grande la carga el efecto del campo va ser mayor” (F2, anexo 3, A3)
-representativa de un posible TA (proporcionalidad directa)-.

“Cuanto mayor es la fuerza menor es el tiempo de recorrido” (F9, anexo 3, A6)-representativa de un posible TA (proporcionalidad inversa)-.

RM (representaciones matemáticas):

I) Representaciones pictóricas:

Gráficas de parábolas / ramas (mediante pantallas del simulador-todos los alumnos)

II) Representaciones algebraicas:

“ $F = q \cdot E$, si $E = 0$, luego $F = q \cdot 0 = 0$ ” (P10, anexo 3, A1)

“ $F = qE$ ” (F2, P7, anexo 3, C6)

“ $R = \frac{v_0^2}{a} \sin 2\theta$ ” (P7, anexo 3, actividad 7, II)

Posibles TA:

“*el campo cambia la trayectoria*” (obviando la fuerza)(F9, P2 y P10);

“*la fuerza modifica la trayectoria*” (sin explicitar el campo) (F4, F2, P7);

“*ley de cargas*”(F2, F4, F9);

“*Si la trayectoria no es recta, hay campo*” (F9, P10)

“*a mayor velocidad mayor alcance*” (proporcionalidad directa, sin considerar superposición de movimientos) (F2, F4, F9)

“*alcance proporcional al cuadrado de la velocidad*” (P2,P7, P10)

“*a mayor carga menor alcance*” (proporcionalidad inversa) Todos los alumnos.

“*a mayor fuerza menor tiempo –de recorrido-*”(F4-F9)

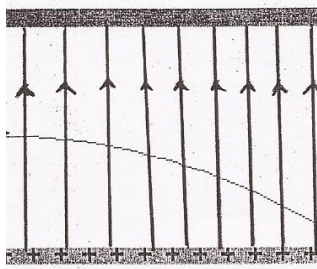
**3.3.2.4. PRIMERA FASE. TERCERA PARTE: POST-LABORATORIO VIRTUAL
MOVIMIENTO EN CAMPO ELÉCTRICO**

En esta tarea correspondiente al estudio de movimientos de cargas en campos eléctricos luego de haber realizado el laboratorio virtual, el grupo de estudiantes manifestó disponer de

representaciones de relaciones entre trayectoria, velocidad, campo y carga, reconocibles en ítems de selección de proposiciones relativas a los factores que afectan el movimiento de una carga en campo eléctrico uniforme. Esta caracterización se desprende de la primera parte de la actividad.

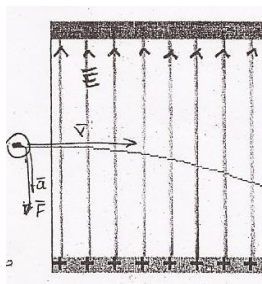
También todos los alumnos del grupo manifestaron disponer de representaciones gráficas pictóricas de las relaciones entre fuentes y campo electrostático, necesarias para dibujar las líneas de campo eléctrico. La siguiente figura ilustra lo afirmado:

Figura 58: Representación de las líneas de campo (P2, anexo 4, segunda parte, a)



Así mismo, la totalidad de los estudiantes reconoció y representó gráficamente el vector velocidad inicial, mostrando disponer de representaciones gráficas de IOF de la Mecánica (concepto de velocidad inicial y trayectoria, relación de tangencia entre velocidad y trayectoria) y de IOM (identificación y representación de vectores). Al representar correctamente la fuerza sobre la carga, los estudiantes manifestaron la disponibilidad del IOF “*relación entre fuerza y trayectoria*” al cual pudieron recurrir para realizar la representación pictórica. Esta alta disponibilidad de representaciones gráficas de tipo icónica es consistente con los resultados obtenidos en los estudios realizados por Llancaqueo, Caballero y Moreira (2003). A modo de ejemplo:

Figura 59: Representación de velocidad inicial y fuerza sobre la carga (P7, anexo 4, segunda parte, b,c)



Al poder inferir el signo de la carga todos los estudiantes parecieran disponer de la relación entre trayectoria, carga y campo. Al brindar justificación, sólo **P7** mostró disponer de la “**relación fuerza-campo**” para emitir una respuesta, lo cual se refleja en la respuesta:

“[La carga tiene signo]-...*porque la carga (-) se mueve en sentido opuesto de las líneas de campo*” (P7, anexo 4, segunda parte, h).

Los demás alumnos, **F2, F4, F9, P2** y **P10**, recurrieron en su explicación a la “**ley de cargas**”.

De modo ilustrativo:

“[La carga tiene signo] – *Porque es atraída por la placa +*” (F2, anexo 4, seg. parte, h).

Estas justificaciones brindadas por los estudiantes, y basadas mayoritariamente en la “**ley de cargas**” pueden ser interpretadas desde los resultados del trabajo de Llancaqueo et al (2003). Según este trabajo citado, se encontró un bajo uso de expresiones lingüísticas de relaciones correspondientes a invariantes operatorios más complejos (como la relación fuerza-campo) por parte de los estudiantes entre los cuales hay alto nivel de desempeño en las representaciones pictóricas o icónicas. En la actual investigación, todos los estudiantes reconocieron el campo eléctrico entre las placas cargadas, pudieron identificar la fuerza actuante y la velocidad de ingreso; sin embargo para realizar esas tareas bastaba con disponer

de representaciones de IO más simples, como la relación aquí denominada “ley de cargas” (que permitiría dibujar la fuerza por la atracción de la carga por la placa de signo contrario), y la relación entre “fuente-campo” (que posibilitaría representar el campo eléctrico a partir de la situación concreta de las placas del condensador).

En el ítem de decidir “cambios en la trayectoria y la fuerza al modificarse un parámetro”, **F2** respondió correctamente que, al duplicarse la velocidad de ingreso al campo “*cambia*” para la trayectoria y “*no cambia*” para la fuerza, pero sin justificar.

En la respuesta del estudiante **F4**, éste evidenció disponer de representaciones de IO correspondientes sólo al movimiento rectilíneo uniforme, no así las correspondientes a la superposición de movimientos, y también de IOM que le permitieron reconocer el carácter vectorial de la fuerza y el campo y sus relaciones. Este alumno reconoció, empleando tanto representaciones verbales como algebraicas simbólicas correctas, los factores de los cuales depende la fuerza que actúa sobre una carga en un campo eléctrico uniforme. Como posible TA de sus explicaciones surge la “*proporcionalidad directa*” para explicar el cambio de trayectoria, ignorando la superposición de movimientos. Como ilustración de lo anterior, la respuesta del estudiante:

“[la trayectoria] *Será más amplia, recorre una distancia mayor debido a que $\Delta x = v_o t$, la velocidad v_o es directamente proporcional al Δx* ” (F4, anexo 4, tercera parte, a)

“[La fuerza] *es la misma ya que $\vec{F} = q\vec{E}$ y no depende de la velocidad*” (F4, anexo 4, tercera parte, b)

En su respuesta el estudiante **F9** reconoció la modificación de trayectoria y fuerza al modificar factores. Mostró una parcial disponibilidad de IOF (mediante relaciones del movimiento en el plano) al contestar que, al duplicar la carga:

“[la trayectoria] *sería más corta chocando con la placa positiva a una menor distancia, ya que la fuerza de atracción hacia la placa aumentaría*” (F9, anexo 4, tercera parte, b).

El alumno **F9** mostró reconocer la modificación en la interacción carga/campo y su efecto en la trayectoria pareciendo limitarse a una única dirección de movimiento (la del campo).

También este estudiante **F9** evidenció disponibilidad de las relaciones entre fuerza-carga-campo, al justificar que la modificación en la carga arroja un aumento en la aceleración, como se reflejó en la respuesta en la que usó representaciones verbales y simbólicas, y expuso, correctamente, la relación entre fuerza-campo y la segunda ley de Newton:

“[La aceleración] *aumentará de forma proporcional al aumentar la carga... $a = qE/m$* ” (F9, anexo 4, tercera parte, b).

Los alumnos del grupo P respondieron, en general, en lenguaje sólo verbal. **P2** reconoció un cambio en la trayectoria y como posible TA para este estudiante es “*proporcionalidad directa*” al responder:

“[la trayectoria] *también sería hacia abajo pero más larga entra más rápido en el mismo campo*” (P2, anexo 4, tercera parte, b),

reconociendo que el único cambio será en el alcance, pero sin cuantificar el efecto. Este estudiante no mostró disponer de representaciones de IOF para explicar correctamente la

relación entre la fuerza y la velocidad, como se ilustra con su respuesta en la que declaró una relación (también de proporcionalidad directa) entre la fuerza eléctrica y la velocidad:

“[la fuerza] *Sería mayor... el campo ejercería más fuerza para atraerla a x*” (P2, anexo 4, tercera parte, b).

P7 caracterizó a la trayectoria por la forma, no la función en sí, y empleó como posible TA la “*proporcionalidad*” entre trayectoria y velocidad, y entre fuerza y velocidad. A modo ilustrativo, al referirse a la trayectoria, el alumno respondió:

“*No cambia la trayectoria, sigue siendo la misma, pero choca más lejos*” (P7, anexo 4, tercera parte, a).

Al justificar la variabilidad de la fuerza al duplicar la velocidad:

“*También cambiaría porque es proporcional: si se modifica la velocidad cambia la aceleración y aceleración se relaciona con la fuerza*” (P7, anexo 4, tercera parte, b).

P10 presentó respuestas verbales correctas y cuantificó, sin recurrir a símbolos algebraicos, el cambio de la trayectoria. Con su respuesta mostró disponer de representaciones de IOF (significados: trayectoria, alcance, velocidad, fuerza, y relaciones: entre trayectoria, alcance y velocidad), así como de IOM para explicitar, verbalmente, relaciones cuantitativas:

“[la trayectoria] *sería cuatro veces mayor, es decir la parábola estaría con sus ramas cuatro veces más abiertas, dado que el recorrido, alcance máximo, es proporcional a la velocidad al cuadrado*” (P10, anexo 4, tercera parte, a).

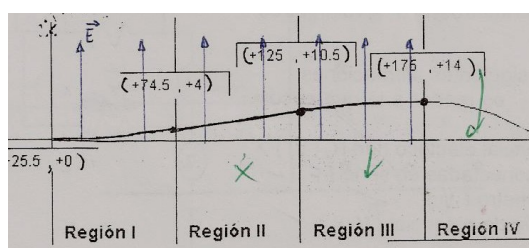
Así, **en la justificación de cambio de trayectoria y/o fuerza al modificarse la velocidad:**

Menos de la mitad de los estudiantes del grupo recurrió a representaciones simbólicas algebraicas para sus explicaciones (F4, F9). Un alumno realizó argumentaciones lingüísticas

mostrando relaciones cuantitativas (P10). Estas dificultades de explicitación de relaciones mediante el uso de representaciones simbólicas, utilizando un lenguaje algebraico adecuado, pueden interpretarse como sugiere Llancaqueo et al (2003) desde la teoría de Vergnaud, en el sentido que involucran un mayor nivel de conceptualización del que parecen no disponer los estudiantes. Estos mismos estudiantes en la fase anterior (laboratorio virtual de campo eléctrico) tampoco recurrieron al lenguaje simbólico algebraico para expresar las relaciones entre las variables.

De la última parte de la prueba, consistente en inferir la dirección y el sentido del campo eléctrico en diferentes regiones a partir de la trayectoria, las respuestas dadas por los alumnos **P7**, **F2** y **F9** indicarían que los mismos no disponían, al momento de la prueba, de relaciones cuantitativas entre fuerza, trayectoria y campo, necesarias para representar mediante líneas de campo, correctamente, el campo eléctrico a partir de la trayectoria, como se ilustra:

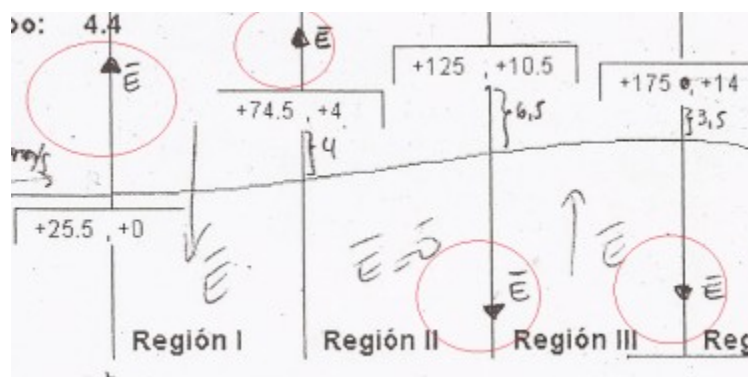
Figura 60: Representación del campo eléctrico a partir de la trayectoria de una carga negativa (F2, anexo 4, cuarta parte, a)



Estos tres estudiantes habían respondido correctamente la tarea de representar las líneas de campo en la segunda parte de la prueba –en la que se brindaba información del signo de las placas paralelas–, pero en esta tarea no lograron diferenciar la intensidad y sentido del campo en cada región. En particular, los alumnos **F2** y **F9** dibujaron el mismo campo en todas las regiones. El alumno **P7** no pudo hacer uso de representaciones adecuadas de las relaciones

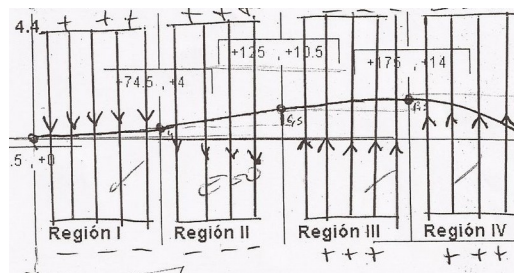
entre el campo, la fuerza y la trayectoria, lo que se evidenció en su respuesta al dibujar las líneas de campo (representativas del campo eléctrico en cada región) de manera incorrecta, no sólo por representarlas sobre las “líneas” que separaban cada región, sino en sentido incorrecto.

Figura 61: Representación del campo eléctrico a partir de la trayectoria de una carga negativa, respuesta del alumno encerrada (P7, anexo 4, cuarta parte, a)



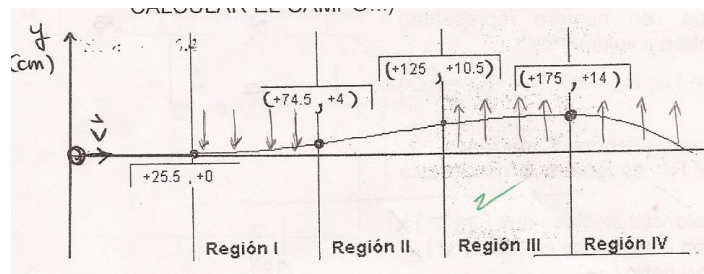
En la misma tarea, el estudiante **P2** no reconoció, en la trayectoria, el comportamiento en ausencia de campo, mientras que sí pudo representar adecuadamente el campo eléctrico en las regiones de intensidad distinta de cero. Este alumno habría logrado una construcción parcial de la relación entre campo-fuerza y trayectoria al mostrar disponibilidad de la misma, pero parece no reconocer características del campo, evidenciadas en una trayectoria rectilínea. Este alumno necesitó recurrir a modelos concretos de fuentes de campo eléctrico (existencia de “placas cargadas”) y a la “ley de cargas” como relación fundamental, poder inferir, de su existencia, la presencia de campo eléctrico. La figura ilustra lo dicho:

Figura 62: Representación del campo eléctrico a partir de la trayectoria de una carga negativa (P2, anexo 4, cuarta parte, a)



F4 y P10 mostraron disponer de las relaciones físicas entre trayectoria y fuerza, y entre fuerza y campo, necesarias para representar correctamente el campo eléctrico actuante en cada región, como se ilustra:

Figura 63: Representación del campo eléctrico a partir de la trayectoria de una carga negativa (F4, anexo 4, cuarta parte, a)

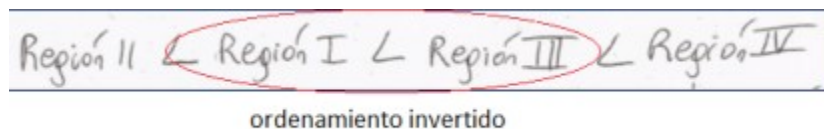


El ítem final de “ordenar las magnitudes de campos” requería por parte de los estudiantes, no sólo disponer de las representaciones de IOF necesarias para interpretar las relaciones entre trayectoria-fuerza-campo, sino también de representaciones adecuadas de IOM para cuantificar esas relaciones. Este proceso de cuantificación fue escaso en las argumentaciones previas de los estudiantes, y la dificultad se mostró en esta última parte de la prueba dado que ningún alumno, de los que respondieron, logró ordenar correctamente las magnitudes de los campos en las cuatro regiones.

Los estudiantes **F9** y **P7** no respondieron, lo cual parece indicar que los alumnos no disponían de representaciones matemáticas de las relaciones entre trayectoria (tipo de gráfica y curvatura), fuerza eléctrica y campo eléctrico, necesarias para realizar un razonamiento que les permitiera responder correctamente.

Los alumnos que sí respondieron, lo ordenaron de manera incorrecta la magnitud de estos campos. Algunos, como **F2**, no reconocieron la variabilidad del campo: “*El módulo de E es el mismo en todas las regiones*”(F2, anexo 4, cuarta parte, b). Otros, como **P10**, reconocieron los diferentes campos (en módulo y sentido) pero no pudieron realizar comparaciones precisas a partir de los datos brindados de las variables cinemáticas posición y velocidad. A modo ilustrativo:

Figura 64: Campo eléctrico ordenado de menor a mayor módulo (P10, anexo 4, cuarta parte, b)



Este estudiante **F2** que en la representación dibujó el mismo campo en todas las regiones, verbalizó su gráfica afirmando que el campo tiene el mismo módulo en todas las regiones. El estudiante **P10** no logró distinguir la menor variación en el desplazamiento vertical en la región III frente a la región I. Fue el alumno que mejor respondió esta cuestión.

Al plantear estrategias para hallar el valor del campo eléctrico en una región, a partir de la información sobre la trayectoria y valores de variables cinemáticas, la respuesta de **F4** mostró recurrir como TA a la relación matemática (expresada en lenguaje simbólico) “*campo de una*

carga puntual”, sin haber incorporado el concepto de movimiento de carga en campo y sin identificar modelos. Esto se desprende de la respuesta del estudiante:

“[Para calcular el campo] Usaría la fórmula $E = kQ/r^2$, la distancia r estaría determinada por la trayectoria de la zona I a la II” (F4, anexo 4, cuarta parte, c).

La respuesta de **P2** fue confusa, indicando que el alumno carecía de representaciones tanto del campo de la Física como de las Matemáticas para elaborar un plan coherente de resolución. En su respuesta brindó cálculos diversos (y contradictorios) con lo que pareciera considerar que “es importante hacer cuentas”. La figura ilustra lo anterior:

Figura 65: Estrategia para determinar el campo eléctrico (P2, anexo 4, cuarta parte, c).

Handwritten student work showing calculations for the electric field and kinematics. The work includes:

- $E = \frac{F}{q} = \frac{q_1 \cdot m}{q_1 \cdot r^2}$
- $E = \frac{1.57 \cdot 10^{-12}}{(3.2 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}$
- $E = 1.88 \cdot 10^{-14} \frac{\text{N}}{\text{C}}$
- $F_x = 0 \Rightarrow a_x = 0$
- $F_y = 0$
- $y(t) = \frac{1}{2} a_y t^2 + v_y t + y_0$
- $a_y = 3.3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

La falta de respuesta del estudiante **P7** mostraría que el mismo no dispone de IO mediante relaciones que le permitan determinar el valor del campo eléctrico a partir de la información brindada.

F2, F9 y **P10** utilizaron en sus respuestas para hallar la magnitud del campo variables cinemáticas, relación entre fuerza y campo, y la segunda ley de Newton, proporcionando argumentos diferentes pero todos correctos. Estos tres alumnos (**F2, F9** y **P10**) mostraron disponer de IOF y IOM necesarios para establecer relaciones válidas referentes al tema bajo estudio. Estos alumnos evidenciaron disponibilidad conceptual al momento de transformar

las relaciones entre los conceptos físicos empleando representaciones matemáticas simbólicas y algebraicas, de manera de emitir una conclusión.

En particular, los estudiantes **F2** y **F9** recurrieron a las relaciones expresadas en lenguaje simbólico algebraico, con algunos errores en la expresión de vectores, para explicar cómo calcular el campo a partir de los datos brindados. Ninguno de los alumnos indicó de qué modo emplearía los datos numéricos del problema. A modo de ejemplo:

Figura 66: ¿Cómo hallar el valor del campo? (F9, anexo 4, cuarta parte, c)

c) $v = \frac{\Delta x}{t} \Rightarrow t = \frac{\Delta x}{v}$ $y = \frac{1}{2} a t^2 \Rightarrow a = \frac{2y}{t^2}$ $a = \frac{q \cdot E}{m} \Rightarrow E = \frac{a \cdot m}{q}$

El alumno **P10** acompañó sus representaciones simbólicas algebraicas de las relaciones entre conceptos físicos, con las aclaraciones verbales de sus razonamientos. En sus representaciones de las relaciones entre conceptos, trabajó de manera contextualizada incorporando los valores numéricos que se mostraban en el ejercicio. La siguiente figura ilustra lo dicho:

Figura 67: ¿Cómo hallar el valor del campo? (P10, anexo 4, cuarta parte, c)

c) Yo con las coordenadas de ingreso y salida a la región $(25,5;0)$ y $(74,5;4)$, más la velocidad inicial, armo las variables cinemáticas del espacio en x e y $x(t) = 25,5 + 60t$ y $y(t) = \frac{1}{2} a t^2$. Luego hallo el instante t en que $x(t) = 74,5$ y lo reemplazo en $y(t)$ para despejar la aceleración. Finalmente $t = 1$ m. s. y calculo el módulo del campo.

Posibles IOF (invariantes operatorios físicos):

I) Significados: trayectoria- movimiento- velocidad-tiempo- fuerza- aceleración- campo

II) Relaciones:

Del campo conceptual de la mecánica:

- Entre velocidad-posición-tiempo en el movimiento rectilíneo uniforme (F2; F4; F9; P2; P7: Anexo 4 tercera y/o cuarta parte c)
- Entre posición-aceleración-tiempo (F2, F9 y P10: Anexo 4 cuarta parte c)
- Entre fuerza-masa- aceleración (segunda Ley de Newton) (F2, F9 y P10: Anexo 4 cuarta parte c)

Del campo conceptual del electromagnetismo:

- Ley de Coulomb (F4: Anexo 4, cuarta parte c)
- Ley de cargas (F2, F4, F9, P2, P10: Anexo 4 segunda parte d)
- Entre fuerza-carga-campo(F4, P7, P10: Anexo 4 cuarta parte)

Posibles IOM (invariantes operatorios matemáticos):

I) Significados:

- Parábola y ramas (P10, anexo 4 tercera parte)
- Función (Todos los estudiantes en segunda y tercera parte del anexo 4)

II) Operaciones y propiedades:

- Producto escalar-vector (Los estudiantes que emplean la relación entre fuerza-carga-campo, F4, P7, P10: Anexo 4 cuarta parte)

RF (representaciones físicas):

I) Representaciones pictóricas:

- Líneas de campo eléctrico uniforme (Todos los estudiantes, anexo 4, segunda parte, a).
- Velocidad de carga eléctrica en movimiento (Todos los estudiantes, anexo 4, segunda parte, b).

-Diagrama de cuerpo libre (Todos los estudiantes, anexo 4, segunda parte, c).

II) Representaciones verbales lingüísticas:

-“*Si aumenta...*” (proporcionalidad) (F4, F9, P2, P7: Anexo 4 tercera parte)

-“*Es atraída por la placa...*” (Ley de cargas) (F2, F4, F9, P10: Anexo 4 segunda parte. P2: Anexo 4 cuarta parte)

RM (representaciones matemáticas):

I) Representaciones pictóricas:

-De vectores: Fuerza y velocidad. (Todos los estudiantes: Anexo 4, segunda parte, c.d)

-Líneas de campo (Todos los estudiantes: anexo 4, segunda parte b. F2, F4, P2, P10: Anexo 4, cuarta parte)

II) Representaciones algebraicas:

-Relación entre fuerza y campo: $\vec{F} = q \vec{E}$ (F4 y F9: Anexo 4, tercera parte. F2, F9, P2, P10: Anexo 4, cuarta parte)

-Segunda Ley de Newton: $\vec{F} = m \vec{a}$ (F2, F9, P10: Anexo 4 cuarta parte)

-Relaciones cinemáticas: $y = \frac{1}{2} a t^2$ (F2, F9, P2, P10: Anexo 4 cuarta parte)

Posibles T en A:

-*ley de cargas* (F2, F4, P2, P10)

-*Proporcionalidad* (F2, F4, F9, P2, P7)

3.3.2.5. SEGUNDA FASE. PRIMERA PARTE: DIAGNÓSTICO DEL MOVIMIENTO DE CARGAS EN CAMPOS MAGNÉTICOS UNIFORMES

De este diagnóstico de movimiento de cargas en campos magnéticos uniformes, los posibles IOF mostrados por los alumnos en las representaciones escritas son la relación entre la fuerza magnética, la trayectoria y el campo magnético, que –excepto P2- todos pudieron interpretar y verbalizar, y en algunos casos, representar pictóricamente (P10).

Como posibles TA, derivados de la relación entre fuerza y campo magnético, podemos mencionar: *El campo magnético modifica el movimiento; el campo magnético ejerce fuerza sobre cargas en movimiento; la fuerza modifica la trayectoria; el sentido de recorrido de la trayectoria dependerá del signo de la carga; la trayectoria de la carga será circular (en presencia de campo magnético en dirección adecuada) (excepto F2); la fuerza magnética actúa como fuerza centrípeta.* Cabe aclarar que estos posibles TA son derivados de la situación particular presentada: la carga se mueve perpendicularmente al campo magnético uniforme.

Los alumnos parecen disponer con diferentes niveles de apropiación de los siguientes significados: carga, campo magnético, trayectoria, fuerza sobre cargas en movimiento, y relaciones (fuerza-velocidad-campo, fuerza perpendicular al campo, regla de producto vectorial). Algunos alumnos evidenciaron disponibilidad de las relaciones mencionadas, y de los IOM necesarios para representar estas relaciones: son F4 y P10; en particular el estudiante P10 dispone de IOM suficientes para argumentar muy detalladamente sus respuestas con símbolos matemáticos adecuados. Otros estudiantes presentaron respuestas que resultaron contradictorias en distintos momentos de la tarea: es el caso de F2 que en lo icónico y en lo verbal no reconoció el carácter centrípeta de la fuerza magnética, aunque si reconoció las relaciones simbólico-algebraicas que vinculan radio, masa, etc. Algunos

alumnos recurrieron en sus explicaciones a la ley de atracción/repulsión, más propio de las cargas eléctricas en campos eléctricos (**ley de cargas**). También al predecir el movimiento de un ión al pasar por dos regiones con diferentes situaciones de campo magnético uniforme, los alumnos mostraron disponer de manera diferente de los IOF: significados de fuerza, carga, campo magnético, trayectoria, y las relaciones de fuerza magnética sobre carga eléctrica en movimiento, además de los IOM significados de producto vectorial y vectores.

En un análisis detallado de las actividades de esta tarea, se puede mencionar:

Todos los alumnos reconocieron, correctamente, el movimiento rectilíneo uniforme del ión en ausencia de campo magnético, y en sus explicaciones verbales y/o algebraicas surgieron como posibles TA:

1) **“La fuerza es la causa de cambios en el movimiento”** (F2 y F9). A modo de ejemplo:

“El ion tendrá un movimiento rectilíneo uniforme debido a que no hay ninguna fuerza que lo haga cambiar ese estado de movimiento” (F2, anexo 5, a)

“El ion tendrá un movimiento rectilíneo uniforme ya que no hay ninguna fuerza que actúe sobre la carga” (F9, anexo 5, a)

2) **“El campo magnético es la causa de cambios en el movimiento”** (F4, P7 y P10).

Ilustrativamente:

“Si no hay Campo no hay fuerza que cambie el movimiento” (F4, anexo 5, a)

“Porque no hay campo que le modifique” (P7, anexo 5, a)

“Debido a que al no existir campo magnético, no existe fuerza que lo desvíe y/o acelere” (P10, anexo 5, a)

3) **“La atracción o repulsión es la causa de cambios en el movimiento”** (P2), por ejemplo:

“MRU ya que no hay fuerzas que **lo atraigan** o que se ejerzan sobre él.” (P2, anexo 5, a).

Los alumnos **F4**, **P7** y **P10** recurrieron al concepto de campo y fuerza para justificar su respuesta, mientras que **F2**, **F9** al concepto de fuerza. La explicación de **P2** pareciera aludir a la “ley de cargas”.

Todos los alumnos reconocieron que el movimiento de la carga que ingresa perpendicularmente a un campo magnético será acelerado, pero no todos caracterizaron correctamente este movimiento, por ejemplo al identificarlo como rectilíneo:

“Será MRUA porque el campo va a ejercer fuerza sobre el ion” (P2, anexo 5, b)

Con su respuesta **P2** manifestó reconocer parcialmente la relación entre fuerza y campo, pero sin disponer de representaciones matemáticas que le permitiera caracterizar esta relación: no identificó la característica de la fuerza magnética de ser perpendicular a la velocidad, por lo que no tiene lugar un “movimiento rectilíneo”.

“...movimiento acelerado...existe un campo magnético que produce una fuerza que modifica la trayectoria” (F2, anexo 5, b)

El estudiante **F2** reconoció la interacción magnética pero no la caracterizó: *La fuerza modifica la trayectoria*, sin especificar cuál es esa modificación.

Los demás estudiantes reconocieron que al moverse en un campo magnético uniforme y perpendicular a la velocidad, la carga realizará un movimiento circular, brindando explicaciones que mostraban reconocer características de la fuerza magnética:

Fuerza magnética es fuerza centrípeta:

“... el ion experimentará un movimiento circular uniforme, debido a la acción de la fuerza centrípeta originada por el campo” (F4, anexo 5, b).

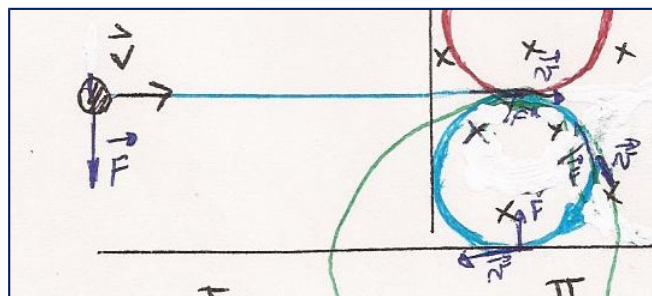
Fuerza magnética modifica la dirección de la velocidad, no el módulo:

“Tendrá un movimiento circular uniforme ya que hay una fuerza constante que cambia la dirección del vector velocidad pero no su módulo” (F9, anexo 5, b).

Fuerza magnética es perpendicular a la velocidad:

“...debido a que la fuerza inicialmente va hacia abajo y como la velocidad y la fuerza son siempre \perp la partícula que empieza a irse hacia abajo, pronto irá cambiando por acción de \vec{F} hacia la izquierda debido a que \vec{v} es siempre tangente a la trayectoria y $\vec{v} \perp \vec{F}$ siempre. (ver dibujo en e) en celeste”. (P10, anexo 5, b)

Figura 68: Ilustración del movimiento de la carga en un campo magnético (P10, anexo 5, b)



El alumno **P7** reconoció el movimiento circular, sin justificar su respuesta.

Al representar la trayectoria en las dos regiones y justificar su “forma”, los estudiantes **F4** y **P10** dibujaron trayectorias correctas en las dos regiones. Ambos alumnos en sus justificaciones fueron coherentes con sus respuestas de ítems anteriores, y en sus explicaciones recurrieron al significado de fuerza magnética:

“...en la región I la trayectoria será la misma debido a que no hay fuerzas que la atraen, ... al entrar en la región II la trayectoria se tornará circular porque aparece la fuerza ejercida por el campo, que la desvía originando el mov. Circular” (F4, anexo 5, d)

P10 respondió de manera correcta, manifestando disponer de conceptos como fuerza, campo, velocidad, movimiento y trayectoria, además de las relaciones entre ellos, las cuales pudo expresar en forma verbal, simbólica y gráfica:

“En la región I es una recta porque no existe \vec{F} al no existir \vec{B} ; entonces el movimiento queda definido sólo por \vec{v} en II existe \vec{F} que siempre es $\vec{F}\vec{v}$ entonces \vec{F} y \vec{v} irán variando en función de \vec{v} a la trayectoria describiendo una circunferencia”(P10, anexo 5, d).

A modo ilustrativo de las representaciones gráficas:

Figura 69: Representación de trayectoria circular (F4 y P10, anexo 5, c)

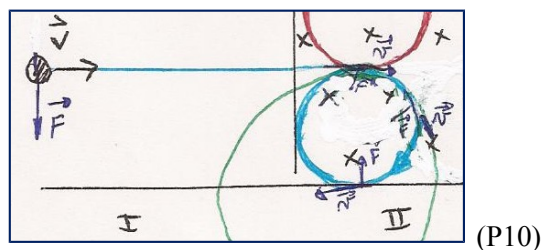
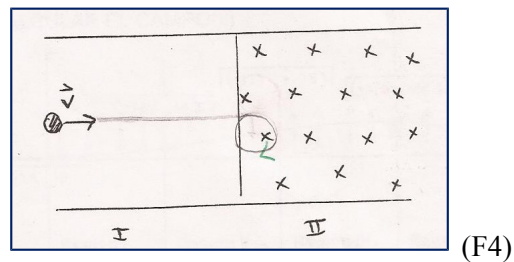


Figura 70: Representación de trayectoria (F9, anexo 5, c)

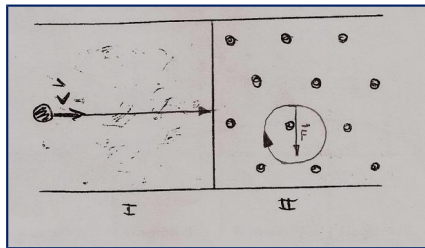
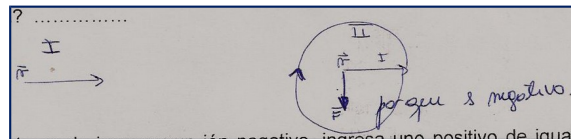


Figura 71: Representación de trayectoria (P7, anexo 5, c)



F9 y **P7** representaron por separado cada trayectoria no reconociendo la continuidad en el movimiento. Los alumnos **F9** y **P7** caracterizaron el movimiento en cada región correctamente, pero no lograron “unirlos”: estos alumnos parecen no disponer del IOF “continuidad de la función posición”. Las representaciones gráficas y las explicaciones de los estudiantes **F9** y **P7** mostraron coherencia entre sí: La respuesta de **F9** parece indicar que el alumno no comprendió la variabilidad punto a punto de la fuerza magnética (es decir el concepto de fuerza como campo vectorial variable):

“...en la región II la trayectoria es circular en sentido horario ya que hay una fuerza constante hacia abajo que modifica la dirección y sentido de la carga” (F9, anexo 5, d).

P7 justificó la trayectoria en el campo, desde el signo de la carga, con lo cual un posible TA que se desprende de su explicación es:

“la fuerza [que produce el cambio de trayectoria] depende del signo de la carga” (P7, anexo 5, d).

Los alumnos **F2** y **P2** dibujaron una trayectoria correcta en ausencia de campo, pero dudosa o con errores en la región con campo, como se muestra:

Figura 72: Representación de trayectoria dudosa (F2, anexo 5, c)

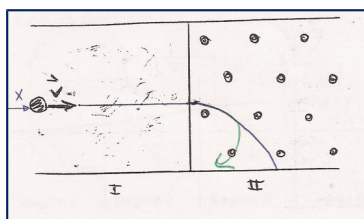
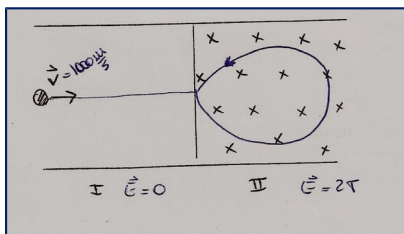


Figura 73: Representación de trayectoria incorrecta (P2, anexo 5, c)



Estos alumnos (**F2** y **P2**) no manifestaron reconocer las características de la fuerza magnética en tanto a la trayectoria característica que determina (**F2**) ni la diferenciabilidad de la curva representativa de la trayectoria del ion al pasar de una región a otra (**P2**). En las justificaciones verbales **F2** evidenció no reconocer propiedades de la fuerza magnética, lo cual expresó:

“[La trayectoria] *Es así porque existe una fuerza ubicada por la regla de la mano derecha que modifica la trayectoria. La fuerza se encuentra en la dirección -y*” (F2, anexo 5, c),

interpretando que la fuerza no varía con el cambio de posición, siempre está “hacia abajo”, respuesta que es consistente con la representación de trayectoria de forma parabólica (característica del campo eléctrico uniforme). La respuesta de **P2**:

“...en I al tener MRU sigue la misma trayectoria...en II **por la regla de la mano derecha**” (P2, anexo 5, c)

parece indicar que no ha construido conceptos relativos al movimiento en campo magnético, lo cual se evidenció por la garantía dada a su respuesta (una regla) y la simbología empleada al colocar “etiquetas” incorrectas en el gráfico para identificar el campo (la de campo eléctrico: $E = 0$... $E = 2T$).

F4 y **P10** fueron consistentes con sus respuestas correctas a las consignas previas, al responder:

“En la región I es una recta porque no existe \vec{F} al no existir \vec{B} ; entonces el movimiento queda definido sólo por \vec{v} ...en II existe \vec{F} que siempre es $\vec{F}\vec{v}$ entonces \vec{F} y \vec{v} irán variando en función de \vec{v} a la trayectoria describiendo una circunferencia”(P10, anexo 5, c),

“...en la región I la trayectoria será la misma debido a que no hay fuerzas que la atraen, ... al entrar en la región II la trayectoria se tornará circular porque aparece la fuerza ejercida por el campo, que la desvía originando el mov. Circular” (F4, anexo 5, c)

manifestando disponer de conceptos como fuerza, campo, velocidad, movimiento y trayectoria, además de las relaciones entre ellos, las cuales pudo expresar en forma verbal y simbólica.

En la tarea de analizar qué cambios se producirían en la trayectoria, si uno de los parámetros (la velocidad de ingreso) se duplicara y justificar tales cambios, excepto P7 que reconoció el cambio pero no cuantificó, los demás alumnos concluyeron que el radio de la circunferencia aumentaría al doble. Los estudiantes **F2**, **F4**, **F9** y **P10** respondieron estableciendo relaciones

las cuales expresaron empleando representaciones verbales y simbólicas algebraicas. A modo ilustrativo:

“...porque el radio de giro es directamente proporcional a la velocidad, dado $R = \frac{mv}{qB}$; al aumentar v , el radio aumenta en la misma proporción”(F4, anexo 5, e).

“El gráfico no será el mismo, como $|\vec{v}|$ y $|\vec{F}|$ son directamente proporcionales \Rightarrow si aumenta $|\vec{v}|$ aumenta $|\vec{F}|$ y por ello las fuerzas actuantes que describen la trayectoria, que serán el doble, determinarán una resultante con un módulo doblemente mayor, doble de radio (ver gráfico verde)” (P10, anexo 5, e)

Figura 74: Efectos de la duplicación de la velocidad (F2, anexo 5, e)

Si la afectara porque =
 $\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$
 $\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{v^2}{r}$
 $q \cdot \vec{v} \times \vec{B} = m \cdot \frac{v^2}{r} \Rightarrow r = \frac{m \cdot v^2}{q \vec{v} \times \vec{B}} = \frac{m \cdot v}{q B}$
 $2r = \frac{2m \cdot v}{q B}$ "el radio será el doble" ✓

Figura 75: Efectos de la duplicación de la velocidad (P7, anexo 5, e)

mayor fuerza girará más fuerte y será más
 pequeña la
 curva. $R = \frac{m \cdot v^2}{q \cdot B}$

La respuesta de **F2** fue esencialmente simbólico algebraica, manifestando este alumno disponibilidad de representaciones de IOM para mostrar relaciones entre significados físicos. Para este alumno la representación simbólico algebraica actúa como garantía de su razonamiento, el cual culmina al declarar “el radio será el doble”.

Las respuestas de **F4**, **F9** y **P2** fueron semejantes; los estudiantes mostraron disponibilidad de representaciones de relaciones entre los conceptos de: trayectoria, velocidad y radio, las cuales expresaron empleando lenguaje verbal fundamentalmente.

El estudiante **P7** recurrió como garantía de su respuesta a la relación simbólica que representa el radio de la trayectoria, pero no cuantificó la relación, no obstante recurrir a la expresión del radio en función de la velocidad.

El estudiante **P10** realizó una respuesta completa, manifestando disponibilidad de los significados de velocidad, radio y trayectoria, y sus relaciones. Recurrió a representaciones simbólicas algebraicas, verbales lingüísticas e icónicas, dibujando la trayectoria de la carga en las nuevas condiciones.

En síntesis, de esta tarea diagnóstica se pueden determinar los siguientes invariantes operatorios empleados por los estudiantes en sus explicaciones:

Posibles IOF (invariantes operatorios físicos):

I) Significados: trayectoria- movimiento- velocidad-campo magnético- fuerza- radio-

II) Relaciones:

Del campo conceptual de la mecánica:

-Entre fuerza y cambio en el movimiento (F2 y F9: Anexo 5, a y b)

“..... movimiento rectilíneo y uniforme ...no hay fuerzas que modifiquen su trayectoria” (F2, anexo 5, a)

Del campo conceptual del electromagnetismo:

Entre campo magnético y cambio en el movimiento (F4, P7 y P10: Anexo 5, a y b)

“... el ion experimentará un movimiento circular uniforme, debido a la acción de la fuerza centrípeta originada por el campo”. (F4, anexo 5, b)

Ley de atracción-repulsión (P2: Anexo 5, a y b)

“... MRU...ya que no hay fuerzas que lo atraigan o que se ejerzan sobre él” (P2, anexo 5, a)

Entre fuerza-carga-campo (Todos los alumnos en diferentes ítems del anexo 5)

“...la trayectoria se tornará circular porque aparece la fuerza ejercida por el campo, que la desvía originando el mov. Circular.” (F4, anexo 5, b)

Entre fuerza y signo de la carga (Todos los alumnos: Anexo 5, d)

“...la fuerza sobre el ión positivo será contraria a la anterior y generará una trayectoria circular con el centro dirigido hacia esa fuerza” (F4, anexo 5, d)

Entre fuerza y velocidad (P10: Anexo 5, c)

“...existe \vec{F} que siempre es $\vec{F}\vec{v}$ entonces \vec{F} y \vec{v} irán variando en función de \vec{v} a la trayectoria describiendo una circunferencia.” (P10, anexo 5, c)

Entre radio, velocidad, campo, carga y masa (Todos los alumnos: Anexo 5, e)

“...porque $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ y $\vec{F} = m\vec{a} = \frac{mv^2}{r} \rightarrow r = \frac{mv}{q\vec{B}} \rightarrow 2r = \frac{m2v}{q\vec{B}}$ ” (F2, anexo 5, e)

Posibles IOM (invariantes operatorios matemáticos):

I) Significados:

Circunferencia-trayectoria circular (Todos los alumnos: Anexo 5, c)

“...generará una trayectoria circular con el centro dirigido hacia esa fuerza” (F4, anexo 5, d)

Función fuerza (F2 y P10: Anexo 5, c)

“...existe una fuerza ubicada por la regla de la mano derecha que modifica la trayectoria. La fuerza se encuentra en la dirección $-y$ ” (F2, anexo 5, c)

“...existe \vec{F} que siempre es $\vec{F}\vec{v}$ entonces \vec{F} y \vec{v} irán variando...”(P10, anexo 5, c)

II) Operaciones y propiedades:

Producto escalar-vector (al invertir el sentido de movimiento al cambiar el signo de carga)

(Todos los alumnos: Anexo 5, d)

“...al ser de signo opuesto la fuerza apunta hacia el eje +y, por lo tanto el ion se desviará hacia el otro lado” (F2, anexo 5, d)

“... interactuará de forma inversa con el campo, originando una fuerza contraria” (F9, anexo 5, d)

Regla de la mano derecha (P2, F2: Anexo 5, c. F4: Anexo 5, d)

“...porque la \vec{F} será la asignada por la regla de la mano derecha” (F4, anexo 5, d)

Producto vectorial (F2: Anexo 5, e)

“... $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ ” (F2, anexo 5, e)

RF (representaciones físicas):

I) Representaciones pictóricas:

Trayectoria (Todos los estudiantes: Anexo 5, c).

Velocidad de carga eléctrica en movimiento en región con campo (P10: Anexo 5, d).

Fuerza sobre la carga en movimiento (F9 y P10: Anexo 5, c).

Figura 76: Representación de trayectoria, velocidad y fuerza (P10, anexo 5, d,e)

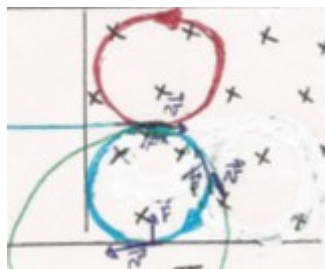
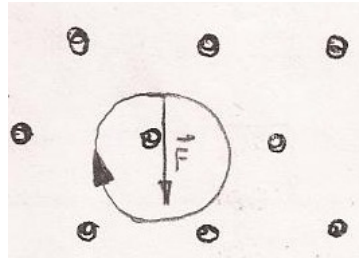


Figura 77: Representación de fuerza magnética (F9, anexo 5, c)



II) Representaciones verbales lingüísticas:

Proporcionalidad: (F4, P7: Anexo 5, e)

“...el radio de giro es directamente proporcional a la velocidad...” (F4, anexo 5, e)

Atracción-repulsión: (F4: Anexo 5, c. P2:Anexo 5; a)

“...la trayectoria será la misma debido a que no hay fuerzas que la atraen”(F4, anexo 5, c)

“... MRU...[ya que no hay fuerzas que lo atraigan o que se ejerzan sobre él” (P2, anexo 5, a)

RM (representaciones matemáticas):

I) Representaciones pictóricas:

Trayectorias (Todos los estudiantes: Anexo 5, c)

De vectores: Fuerza y velocidad (P10: Anexo 5, d. F9 y P10:Anexo 5, c).

II) Representaciones algebraicas:

Relación entre fuerza y campo: $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$ (F2: Anexo 5, e)

Segunda Ley de Newton: $\vec{F} = m \vec{a}$ (F2: Anexo 5e)

Radio de la trayectoria: $R = \frac{mv}{qB}$ (F2, F4, F9, P2, P7: Anexo 5, e)

Posibles TA:

i) De caracterización de la fuerza magnética

-el campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento (F2, F4, P2: Anexo 5, b. F9: Anexo 5,d)

“[...] porque el campo va a ejercer fuerza sobre el ion”(P1, Anexo 5, b)

-el campo magnético cambia el movimiento de la carga(F4, P7 y P10: Anexo 5, a.F2, F4, P2: Anexo 5, b)

“[...] mantiene un movimiento horizontal porque no hay campo que le modifique” (P7, Anexo 5, a)

“Existe un campo magnético que produce una fuerza que modifica la trayectoria”(F2, Anexo 5, b)

-la fuerza magnética es perpendicular a la velocidad(F4, F9, P2, P10: Anexo 5, c)

“Existe \vec{F} que siempre es $\vec{F} \perp \vec{v}$ ”(P10, Anexo 5, c)

ii) de caracterización de la trayectoria

-La carga en el campo magnético realiza un movimiento circular (Anexo 5, b: F4, F9, P7, P10)

“Tendrá un movimiento circular uniforme” (F9, Anexo 5, b)

-El signo de la carga determina el sentido de giro(Todos los alumnos: Anexo 5, d)

“La fuerza depende del signo de la carga” (P7, anexo 5, d).

-El radio de la trayectoria es proporcional a la velocidad (Todos los alumnos: Anexo 5, e)

“[...] Porque el radio de giro es directamente proporcional a la velocidad, dado $R = \frac{mv}{qB}$;

al aumentar v, el radio aumenta en la misma proporción”(F4, anexo 5, e).

-Regla de la mano derecha determina el sentido de giro(P2, F2: Anexo 5, c. F4: Anexo 5, d)

“Existe una fuerza ubicada por la regla de la mano derecha que modifica la trayectoria”(F4, anexo 5, c).

3.3.3.6. SEGUNDA FASE. SEGUNDA PARTE: LABORATORIO VIRTUAL DE MOVIMIENTO EN CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME

En los informes de esta tarea asistida por TIC, los estudiantes del grupo F manifestaron una importante disponibilidad de representaciones de los conceptos físicos y sus relaciones correspondientes al campo conceptual del concepto de “movimiento de cargas en campo magnético”, las cuales se evidenciaron en expresiones lingüísticas, simbólicas e icónicas. También mostraron disponer en la primera etapa de relaciones y propiedades entre los conceptos del campo conceptual del concepto “movimiento de cargas en campo eléctrico”. Sin embargo, al momento de enfrentar la tarea de explicar el comportamiento de una carga sometida a los dos campos, sus respuestas fueron meramente ilustrativas: En la última tarea, en la que debieron considerar la presencia de campos eléctricos y magnéticos, se observó que los estudiantes del grupo F en general no consideraron la perturbación provocada por el campo eléctrico, con lo que evidencian una muy débil disponibilidad de relaciones entre los conceptos de fuerza, movimiento y campo eléctrico y magnético en la resolución de situaciones no rutinarias. Esto lleva a pensar que estos estudiantes poseen una baja disponibilidad conceptual al enfrentarse a verdaderos problemas que les requieran la realización de transformaciones de los significados y sus relaciones, de manera de poder dar respuesta a lo observado. Estos estudiantes no manifestaron disponibilidad del significado del **“principio de superposición”**. Para ellos el uso del simulador resultó interesante, esencialmente, por la facilidad de manipulación.

Los alumnos del grupo P, pese a no haber brindado una fundamentación exhaustiva de lo observado al considerar el movimiento de una carga en dos tipos de campo, reconocieron la “dificultad de describir e interpretar este movimiento”, lo cual indicaría que poseen disponibilidad de los significados del concepto “movimiento de cargas en campos” pero no han logrado realizar las transformaciones de las relaciones necesarias para poder hacer un análisis completo. En sus respuestas **P2** y **P10** mostraron disponer de representaciones de los conceptos de fuerza y principio de superposición de fuerzas, representaciones que se mostraron en las expresiones brindadas en forma verbal y simbólica algebraica de las relaciones entre fuerza, carga y campo, necesarias para explicar el movimiento de la carga en estos campos. Mientras que **P2** reconoció lo difícil de emitir una conclusión a partir de lo observado, **P7** hizo el único análisis de las trayectorias, brindando un principio de cuantificación de las intensidades de las interacciones; pero en este análisis no es evidente que reconozca la diferencia entre la interacción eléctrica y la magnética.

En el análisis pormenorizado de los informes de esta tarea asistida por TIC, podemos afirmar que la mayor parte de los estudiantes (**F2**, **F4**, **F9**, **P2** y **P10**) mostraron haberse apropiado del significado de “**fuerza magnética**”, al reconocer que el campo (eléctrico o magnético) es el responsable de la interacción sobre carga eléctrica en movimiento. A modo ilustrativo:

“[...] al haber un campo magnético, la partícula adquiere una fuerza centrípeta ...” (F9, anexo 6, 4)

“En ausencia de ambos campos: eléctrico y magnético, la carga describe un MRU producto de la velocidad inicial con la que es lanzada la partícula” (P2, anexo 6, 3)

Todos los estudiantes mostraron disponer de representaciones de las relaciones entre fuerza magnética y trayectoria, que les permitieron caracterizar la trayectoria de iones en campos magnéticos uniformes, como se muestra en algunas respuestas verbales:

“La trayectoria que esperamos que siga [la carga que ingresa perpendicularmente al campo magnético uniforme] es circular, con sentido anti horario, porque la velocidad es horizontal dirigida hacia la derecha, y la carga es positiva” (P7, anexo 6, 4).

“[en presencia de campo magnético] Esperaríamos una trayectoria circular, porque al haber un campo magnético, la partícula adquiere una fuerza centrípeta que le da esa forma a la trayectoria” (F9, anexo 6, 4)

Algunos estudiantes (**P2**, **P10**), también mostraron disponer de relaciones suficientes para caracterizar la fuerza magnética:

“[...] Esta fuerza siempre es perpendicular a la velocidad y apunta hacia el centro de la trayectoria, la velocidad a su vez es siempre tangente a la trayectoria y perpendicular al campo magnético. La fuerza al apuntar siempre hacia el centro y ser siempre perpendicular a la velocidad va cambiando de dirección, al igual que la velocidad también lo hace, pero siempre conservaran constante su módulo” (P10, anexo 6, 4)

Otros estudiantes (**F2**, **F4**, **P2**, **P10**) evidenciaron una construcción de significados referidos a la fuerza magnética, aludiendo al carácter de “fuerza centrípeta”, mostrando haber relacionado conceptos del campo conceptual del electromagnetismo con significados del campo conceptual de la Mecánica:

“...la fuerza ejercida sobre la partícula es perpendicular a la velocidad de la misma, por lo tanto es una fuerza centrípeta” (F2, anexo 6, 4)

“...porque al haber un campo magnético, la partícula adquiere una fuerza centrípeta que le da esa forma a la trayectoria”. (F4, anexo 6, 4)

“Se espera que la partícula positiva describa una trayectoria circular uniforme, en un sentido anti horario, debido a que toda partícula que ingresa en un campo magnético experimenta una fuerza cuyo sentido y dirección están definidas por la regla de la mano derecha. Esta fuerza siempre es perpendicular a la velocidad y apunta hacia el centro de la trayectoria, la velocidad a su vez es siempre tangente a la trayectoria y perpendicular al campo magnético. La fuerza al apuntar siempre hacia el centro y ser siempre perpendicular a la velocidad va cambiando de dirección, al igual que la velocidad también lo hace, pero siempre conservaran constante su módulo” (P2, anexo 6, 4)

Al comparar trayectoria para cargas de diferentes signos, todos los alumnos evidenciaron disponer de representaciones de relaciones entre fuerza magnética y signo de la carga, al reconocer que la trayectoria cambiará su sentido al cambiar el signo de la carga, mostrando en sus explicaciones el adecuado uso de los conceptos de sentido de giro horario/antihorario, fuerza, radio. A modo ilustrativo:

“Lo que se modificaría es la orientación de la fuerza, por lo que varía su sentido de giro en la trayectoria de la partícula” (F2, anexo 6, 6).

“Si la carga es de igual magnitud pero ahora negativa, será un espejo de la trayectoria anterior es decir que estará orientada hacia el otro lado y tendrá el mismo radio” (F9, anexo 6, 6)

Figura 78: Efecto sobre la trayectoria al cambiar el signo de la carga (F9, anexo 6, 6)



“La trayectoria se traslada en el sentido de las agujas del reloj (sentido horario)” (P7, anexo 6, 6)

“Al mantenerse las condiciones anteriores pero cambiar la carga de la partícula (ahora será negativa), va a cambiar el sentido de la fuerza por lo que la trayectoria seguirá siendo circular uniforme pero comenzando a describirla hacia abajo y en sentido horario. El radio va a ser el mismo ya que la carga será del mismo tamaño (misma masa)” (P10, anexo 6, 6)

Los alumnos mostraron disponibilidad de las relaciones entre carga, masa, velocidad, campo y trayectoria, al explicitar los efectos que producirían sobre la trayectoria de la partícula los cambios de distintos factores (masa, carga, campo, velocidad). Las respuestas fueron dadas en lenguaje verbal, aludiendo a la **“proporcionalidad / proporcionalidad inversa”** como respuesta. En ningún caso expusieron como garantías relaciones simbólicas algebraicas que permitieran cuantificar las relaciones verbales. A modo de ejemplo:

1) Al considerar la relación entre masa y trayectoria,

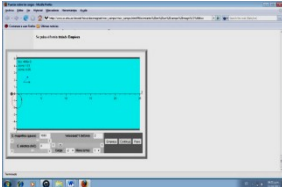
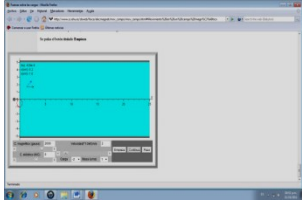
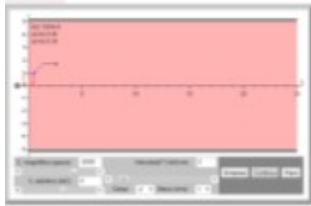
“Las tres trayectorias son circulares, pero difieren en el radio, debido a que este es directamente proporcional a la masa: mientras más grande sea, mayor será el radio” (F4, anexo 6, 7).

Respuestas semejantes por parte de los demás estudiantes, los llevan a proponer en su explicación **“El radio es directamente proporcional a la masa”**, explicación que puede considerarse un posible TA.

2) Al considerar el efecto del campo magnético sobre la trayectoria, los alumnos en general (excepto F2) propusieron diferentes campos magnéticos, no sólo en magnitud sino

también en sentido. Los estudiantes ilustraron sus respuestas verbales con pantallas ilustrativas, como por ejemplo:

Figura 79: Dependencia de la trayectoria con el campo (P7, anexo 6, 8)

<i>Datos fijos</i>	<i>Campo Magnético G</i>	<i>Simulador</i>
<i>q = - 2 m = 1 uma</i>	<i>B = 1000</i>	
	<i>B = 2000</i>	
	<i>B = -1500</i>	
<i>Conclusión</i>	<i>Al considerar una carga negativa $q = -2.16 \cdot 10^{-19} C$, con una masa $m = 1$ uma, con una velocidad inicial de 2m/s dirigido horizontalmente hacia la derecha, observamos al variar el campo magnético, la trayectoria es circular en los tres casos, en los dos primeros donde B es positivo el sentido es horario, es decir con sentido a las agujas del reloj; en cambio el tercer caso donde B es negativo el sentido es antihorario. También observamos que a mayor magnitud (módulo) de B, menor radio. Concluimos así que el radio es inversamente proporcional a B.</i>	

Otro estudiante verbalizó su análisis:

“Se espera observar una trayectoria circular uniforme en sentido horario. Podemos ver que las fuerzas que experimentan las tres cargas poseen en común el sentido y la trayectoria que describen es la misma, pero lo que cambia es el radio de giro de la órbita circular que se hace menor cuando el campo magnético es mayor. Podemos decir entonces que **es inversamente proporcional el campo magnético con el radio de la trayectoria**”. (P2 y P10, anexo 6, 8)

De las respuestas a este ítem puede deducirse como posible TA la “**proporcionalidad inversa entre campo magnético y radio de la trayectoria**”.

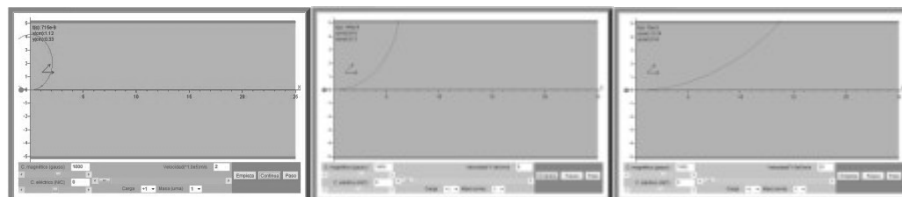
3) Al diseñar la experiencia para responder sobre el efecto sobre la trayectoria del **cambio de velocidad de ingreso al campo**, el alumno **F2** reconoció la relación entre radio de la trayectoria y velocidad, respondiendo solamente con representaciones verbales:

“Mientras aumenta la velocidad inicial de la partícula, mayor se hace el radio de giro en la trayectoria de la misma” (F2, anexo 6, 9)

Las respuestas en general aluden a la “**proporcionalidad entre el radio de giro y la velocidad inicial**” afirmación que se transforma en un posible TA, y los alumnos **F4, F9, P2, P7 y P10** justifican además con imágenes del simulador:

“Con el simulador observamos como la velocidad influye de manera proporcional en la trayectoria, ya que el radio de giro es directamente proporcional a la velocidad. Cuanto mayor velocidad, mayor radio de giro.” (F9, anexo 6, 9)

Figura 80: Dependencia de la trayectoria con la velocidad inicial (F9, anexo 6, 9)



4) Al analizar los efectos sobre la trayectoria del **cambio de los diferentes parámetros**, los estudiantes mostraron disponer de representaciones de características de movimiento de cargas en campo magnético uniforme, como por ejemplo la “**trayectoria circular**” (F4, P2, P7 y P10). Sin embargo, estos estudiantes que reconocieron la forma de la trayectoria, no expusieron como relevante la necesidad que la carga se mueva en el campo magnético, para que experimente la fuerza que la lleve a realizar la trayectoria descrita. Es decir, la construcción del significado del Movimiento de cargas en campo magnético pareciera encontrarse en un nivel medio de conceptualización: los estudiantes no muestran reconocer condiciones necesarias para que ocurra el fenómeno bajo estudio. A modo de ejemplo:

“La trayectoria siempre será circular, cambiando el radio de este según ciertos parámetros. Al aumentar la velocidad o la masa el radio aumenta, pero al aumentar parámetros tales como la carga o el campo magnético el radio disminuye ya que son inversamente proporcionales”(F4, anexo 6, 10)

“La trayectoria es siempre circular, si la partícula posee carga y está en presencia de un campo magnético ...” (P2, anexo 6, 10)

En tanto a las relaciones entre las variables, los alumnos respondieron desde las proporcionalidades:

“Podemos concluir que la trayectoria será siempre circular, siempre que la partícula tenga carga y esté en presencia de un campo magnético (no nulo). El radio de esta trayectoria está definido de forma: Directamente proporcional a la masa de la carga y al módulo de la velocidad con la que ingresa. Inversamente proporcional al

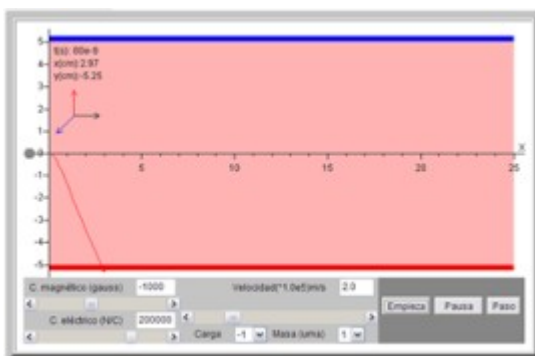
módulo del campo magnético al que está sometida la carga.” (P10, anexo 6, 10)

y en un único caso empleando una representación simbólica algebraica:

“ $R = \frac{mv}{|q|B}$ concluimos que el radio es directamente proporcional a la masa y a la velocidad, e inversamente proporcional a la carga y al campo magnético”. (P7, anexo 6, 10)

Al considerar la **trayectoria de la carga en movimiento en presencia de campos eléctricos y magnéticos** uniformes y perpendiculares entre sí, las respuestas de los alumnos del grupo F no dan cuenta de haberse apropiado del significado de movimiento de cargas en campos, ni de la potencialidad del uso del simulador, lo cual se desprende de las respuestas dadas. Estas respuestas presentan sólo imágenes (F2) o imágenes y una única afirmación (F4 y F9) pero no hay análisis de lo observado en las pantallas. A modo ilustrativo:

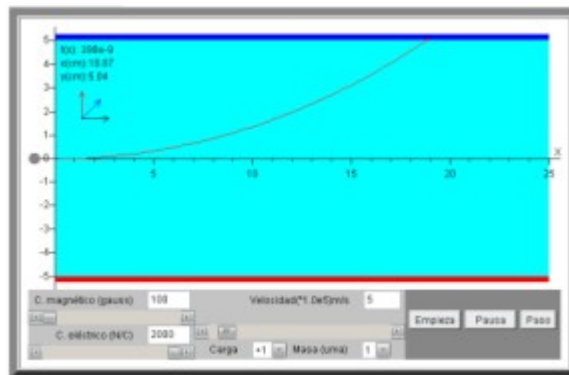
Figura 81: Trayectoria de la carga en presencia de campos eléctrico y magnético (F2, anexo 6, 11)



En tanto **F4** y **F9** mostraron una pantalla, y concluyeron:

“Las trayectorias serán opuestas entre sí”. (F4 y F9, anexo 6, 11),

Figura 82: Trayectoria de la carga en presencia de campos eléctrico y magnético (F4 y F9, an. 6, 11)



F2 incorporó cuatro pantallas (las únicas de todo su informe) sin emitir afirmaciones verbales; en las pantallas modificó valores de E y B pero sin interpretar.

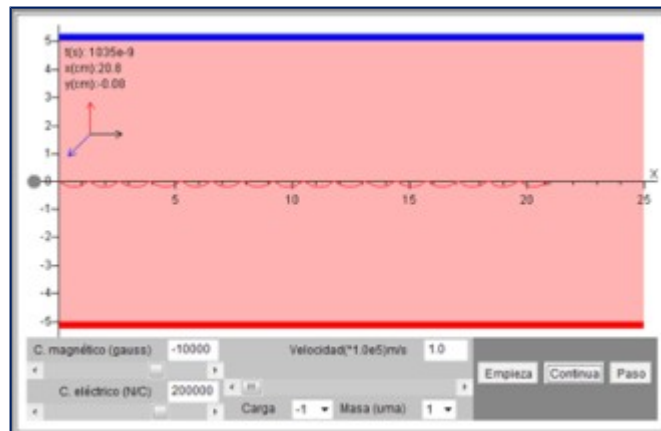
En este último ítem se observó que los estudiantes del grupo F en general no consideraron la perturbación provocada por el campo eléctrico, con lo que evidenciaron no disponer (o disponer de manera muy débil) de representaciones de los conocimientos en acto para poder explicar el comportamiento de la carga sometida a los dos campos. Las respuestas verbales (“*las trayectorias serán opuestas entre sí*”) darían cuenta de la comprensión de la característica de la interacción electromagnética dependiendo del signo de la carga, pero no indican una comprensión de la forma en que cada campo interactúa con la partícula cargada.

En las respuestas de los alumnos del grupo P, los estudiantes mostraron reconocer la presencia de ambos campos, la interacción de cada uno con la carga, y, en algunos casos, mediante representaciones adecuadas, las características de estas interacciones.

El estudiante **P2** mostró disponer de representaciones del significado de “fuerza eléctrica”, caracterizándola como vector constante. También evidenció un importante nivel de conceptualización de la fuerza magnética –tema bajo estudio en esta tarea- , al disponer de representaciones verbales de las características de la misma, en tanto vector variable punto a punto, y caracterizarla mediante la relación matemática “producto vectorial”. Además, al momento de la tarea, disponía el estudiante del significado del “**principio de superposición de fuerzas**” necesario para poder caracterizar el efecto de las dos interacciones. La siguiente es la respuesta del estudiante que ilustra la interpretación:

“Nos resultó dificultoso el análisis ya que al variar los parámetros resultaban trayectorias diferentes...[...] La fuerza que ejerce el campo eléctrico se mantiene siempre constante en dirección, sentido y en módulo, apuntando en la dirección positiva del eje y, la fuerza que ejerce el campo magnético va a ir variando en dirección y sentido, ya que varía el sentido de la velocidad de la carga (de acuerdo al producto vectorial entre la velocidad y el campo). La fuerza resultante sobre la carga surge de la suma vectorial entre ambas fuerzas, esta fuerza es la que va a permitir inferir la trayectoria.” (P2, anexo 6, 11)

Figura 83: Trayectoria de la carga en presencia de campos eléctrico y magnético (P2, anexo 6, 11)



Respecto al estudiante
 respuesta fue dada

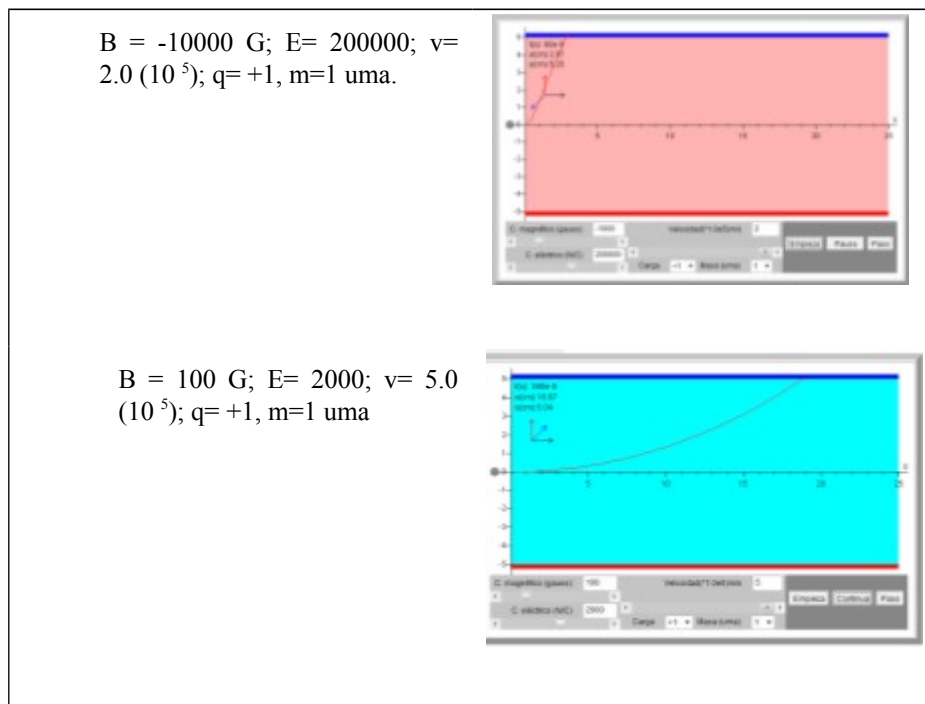
P7, su
 empleando

representaciones verbales, simbólico algebraicas, y pictóricas. El estudiante reconoció características de cada una de las interacciones (eléctrica y magnética), mostrando disponibilidad de lenguaje verbal para interpretar la relación simbólica que las representa. Sin embargo, la representación icónica (pantalla del simulador) que brindó como respaldo a su respuesta verbal-simbólica, no fue analizada de manera de justificar lo que se observó en la pantalla; en estas pantallas la elección de campos fue tal que la proporción entre sus magnitudes es la misma, cambiando la velocidad de ingreso al campo. El comentario “*Una partícula cargada positivamente que lleve mayor velocidad sentirá una fuerza magnética mayor que la fuerza eléctrica por lo que será desviada hacia abajo*” no evidencia un análisis de la magnitud de cada fuerza, sólo una comprensión de los atributos de dirección y sentido de vectores representativos de las interacciones. La respuesta de este estudiante fue la siguiente:

“En una región del espacio existen un campo eléctrico y un campo magnético perpendiculares entre sí, la fuerza combinada que actúa sobre una partícula con carga q y velocidad v es $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$. Como la fuerza magnética depende de la velocidad pero no así la fuerza eléctrica, la fuerza total no será cero para partículas que lleven una velocidad diferente. Una

partícula cargada positivamente que lleve mayor velocidad sentirá una fuerza magnética mayor que la fuerza eléctrica por lo que será desviada hacia abajo. Igualmente si la carga positiva viaja con menor velocidad será desviada hacia arriba” (P7, anexo 6, 11)

Figura 84: Trayectoria de la carga en presencia de campos eléctrico y magnético (P7, anexo 6, 11)



El alumno **P10** describió la influencia de ambos campos, empleando representaciones verbales lingüísticas y simbólicas de IOM (producto vectorial de vectores) y de IOF, caracterizando a las fuerzas intervinientes. En su respuesta presentó una síntesis de características de cada una de las interacciones, eléctrica y magnética, mostrando disponibilidad de lenguaje verbal para interpretar cada una de ellas. Este estudiante evidenció disponer de representaciones del **principio de superposición de fuerzas** necesario para describir el movimiento, en cada punto del espacio. Sin embargo, no interpretó las

trayectorias observadas que mostró con las pantalla del simulador, ni se planteó la pregunta: ¿por qué el primer grupo de trayectorias es tan diferente al segundo?. La respuesta del estudiante, semejante a la del alumno P2, fue la siguiente:

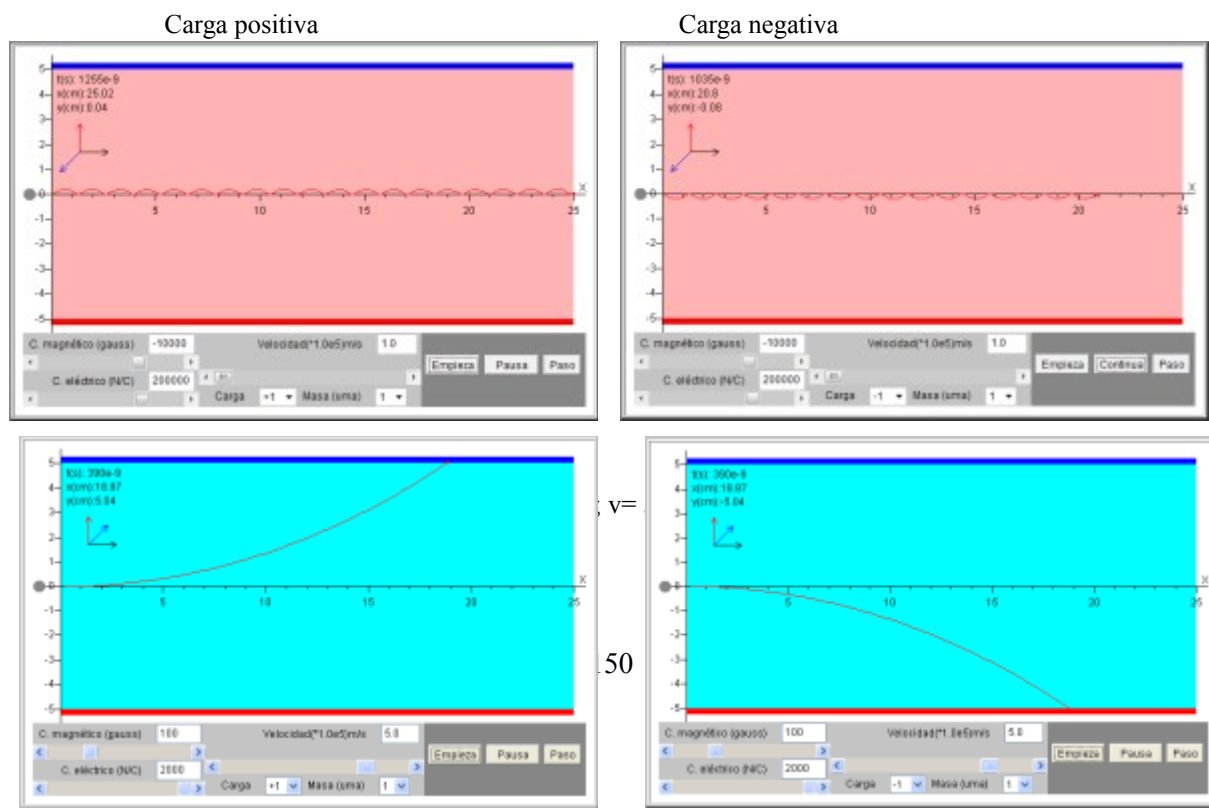
“Ambos campos ejercen fuerzas sobre la carga. Sin embargo hay algunas diferencias entre ellas:

- La fuerza que ejerce el campo eléctrico E , se mantiene siempre constante en dirección, sentido y en modulo, apuntando en la dirección positiva del eje y .
- En cambio, la fuerza que ejerce el campo magnético B , va a ir variando en dirección y sentido, ya que varía el sentido de la velocidad de la carga (de acuerdo al producto vectorial entre la velocidad y el campo).

La fuerza resultante sobre la carga surge de la suma vectorial entre ambas fuerzas, esta fuerza es la que va a permitir inferir la trayectoria que va a variar según los valores de los parámetros y el signo de la carga” (P10, anexo 6, 11)

Figura 85: Trayectoria de la carga en presencia de campos eléctrico y magnético (P10, anexo 6, 11)

$$B = -10000 \text{ G}; E = 200000; v = 2.0 (10^{-5}); q = +1, m = 1 \text{ uma.}$$



El lenguaje dominante en las argumentaciones de los alumnos fue el verbal lingüístico, y pese a tener disponibles “datos” numéricos para hacer cálculos con los cuales validar las respuestas del simulador, los alumnos no lo hacen. En la mayoría de las respuestas mostraron como respaldo las pantallas del simulador, y, no obstante reconocerlo como:

“El simulador es una herramienta muy útil ya que nos permite visualizar de una mejor forma como interactúa una partícula con los diferentes campos. Es bastante fácil de usar lo que hace más cómodo el trabajo, además de que podemos interactuar con los diferentes parámetros para observar como se ve afectada la partícula” (F9, anexo 6, 12).

no realizaron las interpretaciones, desde los significados del campo conceptual del concepto, que mostrarían la efectiva adquisición del concepto. Esto se aprecia en las diferentes representaciones icónicas mostradas en presencia de dos campos (ver figuras 84 y 85 anteriores), y, aunque cada estudiante mostró una diferente apropiación de significados, sólo un estudiante (P7) mostró una interpretación verbal incipiente de las trayectorias mostradas.

Posibles IOF (invariantes operatorios físicos):

I) Significados:

Trayectoria: (Todos los estudiantes en distintas partes del Anexo 6)

“Podemos concluir que la trayectoria será siempre circular, siempre que la partícula tenga carga y esté en presencia de un campo magnético (no nulo)”(P10, anexo 6, 10)

Movimiento:(Todos los estudiantes en distintas partes del Anexo 6)

“La trayectoria que observamos es la de un movimiento circular uniforme” (F2, Anexo 6, 7)

Velocidad: (F9, P2, P10: Anexo 6, 3. F2, P7, P10: Anexo 6, 4. Todos los alumnos: Anexo 6, 9)

“En ausencia de campo eléctrico y magnético la carga sigue un movimiento rectilíneo uniforme producto de la velocidad con la que ingresa”(P2, anexo 6, 3)

Campo magnético: (Todos los alumnos, Anexo 6)

Campo eléctrico:(P2, P7, P10: Anexo 6, 12)

“En una región del espacio existen un campo eléctrico y un campo magnético perpendiculares entre sí, la fuerza combinada....”(P7, anexo 6, 12)

Fuerza: (F9, P10: Anexo 6, 3. F2, F4, F9, P2, P10: Anexo 6, 4. P2, P7, P10: Anexo 6, 12)

“Toda partícula que ingresa en un campo magnético experimenta una fuerza...”(P10, anexo 6, 4)

“[...]la fuerza magnética depende de la velocidad pero no así la fuerza eléctrica”(P7, anexo 6, 12)

Radio:(F2, F9, P7, P10: Anexo 6, g. Todos los estudiantes: Anexo 6, 7), 8), 9), 10) y 11)).

“...por lo que varía su sentido de giro en la trayectoria de la partícula”(F2, anexo 6, 6)

“El radio es directamente proporcional a la masa.”(P7, anexo 6, 7)

“Si aumentamos la intensidad del campo magnético, el radio de giro que recorrerá la partícula será menor”(F2, anexo 6, 11)

II) Relaciones:

Del campo conceptual de la mecánica:

Fuerza y cambio de movimiento:

“En ausencia de ambos campos: eléctrico y magnético, la carga describe un MRU producto de la velocidad inicial con la que es lanzada la partícula” (P2, anexo 6, 3)

Del campo conceptual del electromagnetismo:

Entre fuerza-carga-campo magnético (En el anexo 6, todos los alumnos en diferentes ítems)

“[...] al haber un campo magnético, la partícula adquiere una fuerza centrípeta ...”
(F9, anexo 6, 4)

“La fuerza al apuntar siempre hacia el centro y ser siempre perpendicular a la velocidad va cambiando de dirección, al igual que la velocidad también lo hace, pero siempre conservaran constante su módulo” (P2, anexo 6, 4)

Entre fuerza magnética y signo de la carga (En el anexo 6, 6: todos los alumnos)

“[Al cambiar el signo de la carga]Lo que se modificaría es la orientación de la fuerza, por lo que varía su sentido de giro en la trayectoria de la partícula”(F2, anexo 6, 6)

Entre fuerza magnética y velocidad (en anexo 6, 4 y 11: F2, P2, P10)

“[...]la fuerza que ejerce el campo magnético va a ir variando en dirección y sentido, ya que varía el sentido de la velocidad de la carga (de acuerdo al producto vectorial entre la velocidad y el campo)” (P2, anexo 6, 11)

“...la fuerza ejercida sobre la partícula es perpendicular a la velocidad de la misma...” (F2, anexo 6, 4)

Entre radio, velocidad, campo magnético, carga y masa (En anexo 6, 8) y 10): todos los alumnos)

“[...] es inversamente proporcional el campo magnético con el radio de la trayectoria...”(P2 y P10: anexo 6, 8)

“Cuando la masa de la partícula aumenta, el radio de giro de la misma al ser inserta en un campo magnético, aumenta en proporción” (F2, anexo 6, 10)

“Al aumentar la velocidad o la masa el radio aumenta, pero al aumentar parámetros tales como la carga o el campo magnético el radio disminuye ya que son inversamente proporcionales” (F4, anexo 6, 10)

Posibles IOM (invariantes operatorios matemáticos):

I) Significados:

Circunferencia-trayectoria circular (Todos los alumnos en Anexo 6, 4. y siguientes)

“[en presencia de campo magnético] Esperaríamos una trayectoria circular, porque al haber un campo magnético, la partícula adquiere una fuerza centrípeta que le da esa forma a la trayectoria” (F9, anexo 6, 4)

Fuerza como campo vectorial (P10: Anexo 6, 4)

“La fuerza al apuntar siempre hacia el centro y ser siempre perpendicular a la velocidad va cambiando de dirección, al igual que la velocidad también lo hace, pero siempre conservaran constante su módulo” (P10, anexo 6, 4)

II) Operaciones y propiedades:

Producto escalar-vector (implícitamente : $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$) (Todos los alumnos: anexo 6, 6)

“...[al ser de signo opuesto]Lo que se modificaría es la orientación de la fuerza, por lo que varía su sentido de giro en la trayectoria de la partícula” (F2, anexo 6, 6)

Regla de la mano derecha (P10: Anexo 6, 4)

“[...] debido a que toda partícula que ingresa en un campo magnético experimenta una fuerza cuyo sentido y dirección están definidas por la regla de la mano derecha” (P10, anexo 6, 4)

Producto vectorial (P7: Anexo 6, 11)

“En una región del espacio existen un campo eléctrico y un campo magnético perpendiculares entre sí, la fuerza combinada que actúa sobre una partícula con carga q y velocidad v es

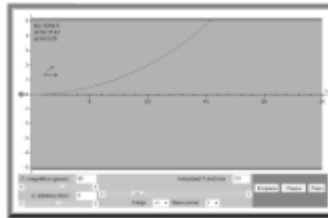
$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} \dots$$
 (P7, anexo 6, 11)

RF (representaciones físicas):

I) Representaciones pictóricas:

Trayectoria (Todos los alumnos: Anexo 6, 5).

Figura 86: Movimiento de una carga negativa en un campo magnético (F4, anexo 6, 5)



II) Representaciones verbales lingüísticas:

Proporcionalidad: (Todos los alumnos: Anexo 6, 7) y 10)

“El radio es directamente proporcional a la masa...” (P2, anexo 6, 7)

Proporcionalidad inversa (En anexo 6, 8 y 10)

“[...] a medida que el campo magnético aumenta, el radio disminuye ya que son inversamente proporcionales” (F4, anexo 6, 8).

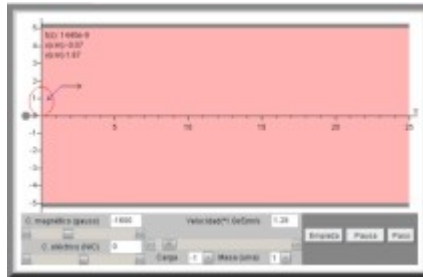
RM (representaciones matemáticas):

I) Representaciones pictóricas:

Trayectorias (Todos los estudiantes en anexo 6, en distintas cuestiones)

Figura 87: Trayectoria de una carga en presencia de campos eléctrico y magnético (P10, anexo 6, 11)

Figura 88: Trayectoria de la carga que ingresa perpendicular a un campo magnético uniforme (F4, anexo 6, 6)



II) Representaciones

Relación entre fuerza y

(P7: Anexo 6, 12)

Radio de la trayectoria: $R = \frac{mv}{qB}$ (P7: Anexo 6, 11)

Posibles TA (Teoremas en acto):

i) De caracterización de la fuerza magnética

-el campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento (F9, P2, P7: Anexo 6, 3). Todos los alumnos: Anexo 6, 4)

“[en ausencia de campo magnético y eléctrico] *Vemos que la partícula no sufre ninguna desviación en su trayectoria ya que no aparece ninguna fuerza que implique una aceleración en la velocidad de la partícula*” (F2, anexo 6, 3)

-la fuerza magnética es perpendicular a la velocidad (P10: Anexo 6, 3)

“*Esta fuerza siempre es perpendicular a la velocidad y apunta hacia el centro de la trayectoria...*” (P10, Anexo 6, 3)

ii) de caracterización de la trayectoria

algebraicas:

campo: $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$

-La carga en el campo magnético realiza un movimiento circular (Todos los alumnos: Anexo 6, 4)

“...se esperaría es una trayectoria circular uniforme. Ya que la fuerza ejercida sobre la partícula es perpendicular a la velocidad de la misma, por lo tanto es una fuerza centrípeta”
(F2, Anexo 6, 4)

“Manteniendo un campo eléctrico nulo pero modificando el campo magnético a un valor distinto de cero, sobre la partícula aparecerá una fuerza que le imprimirá una aceleración que la dirigirá hacia un lado o hacia el otro, dependiendo del signo del campo será hacia el lado que se dirigirá, describiendo una trayectoria circular” (F9, Anexo 6, 4)

-El signo de la carga determina el sentido de giro (P7:Anexo 6, 4. F9; P7; P10: Anexo 6, 5)

“La trayectoria que esperamos que siga es circular, con sentido anti horario, porque la velocidad es horizontal dirigida hacia la derecha, y la carga es positiva” (P7, Anexo 6, 4)

“Si la carga es de igual magnitud pero ahora negativa, será un espejo de la trayectoria anterior es decir que estará orientada hacia el otro lado...”(F9, Anexo 6, 5)

-El radio de la trayectoria es proporcional a la velocidad (Todos los alumnos: Anexo 6, 9)

“Mientras aumenta la velocidad inicial de la partícula, mayor se hace el radio de giro en la trayectoria de la misma” (F2, Anexo 6, 9)

“Con el simulador observamos como la velocidad influye de manera proporcional en la trayectoria, ya que el radio de giro es directamente proporcional a la velocidad” (F9, Anexo 6, 9)

-El radio de la trayectoria es inversamente proporcional al valor del campo (Todos los alumnos: Anexo 6, 8)

“...observamos que a mayor magnitud (módulo) de B, menor radio” (P7, Anexo 6, 8)

-El radio de la trayectoria es proporcional a la masa (Todos los alumnos: Anexo 6, 7)

“Las tres trayectorias son circulares, pero difieren en el radio, debido a que este es directamente proporcional a la masa: mientras más grande sea, mayor será el radio.”(F4, Anexo 6, 7)

-Regla de la mano derecha determina el sentido de giro(P10: Anexo 6, 4)

“[...] debido a que toda partícula que ingresa en un campo magnético experimenta una fuerza cuyo sentido y dirección están definidas por la regla de la mano derecha” (P10, anexo 6, 4)

3.3.2.7. SEGUNDA FASE. TERCERA PARTE: POST LABORATORIO MOVIMIENTO DE CARGAS EN CAMPO MAGNÉTICOS UNIFORMES

En las diferentes tareas vinculadas a obtener información a partir de la trayectoria de la carga en diferentes regiones de campo magnético uniforme, los estudiantes en general (**F2, F4, P2** y **P10**) reconocieron la presencia de estos campos magnéticos al observar el cambio en la trayectoria de la partícula cargada y pudieron representar gráficamente las líneas de campo. La mitad de los alumnos (**F2, F4** y **P10**) pudo ordenar correctamente las magnitudes de los campos, a partir de la observación de la trayectoria. También la mitad de los estudiantes (**F2, P7** y **P10**) presentaron argumentos válidos sobre la manera de lograr que una carga no ingrese en una región determinada.

En tareas relacionadas a características de la fuerza magnética, todos los estudiantes identificaron la relación entre fuerza y signo de la carga, y esta característica la describieron empleando lenguaje verbal y/o algebraico, y representando gráficamente de manera incompleta la trayectoria para una nueva situación. Sólo dos estudiantes, **F2** y **P2**, reconocieron que la magnitud de la velocidad en dos regiones de diferentes campos magnéticos uniformes era la misma y lo pudieron justificar. Al representar la fuerza sobre la

carga en movimiento, la mitad de los alumnos (**F2**, **F4** y **P10**) lo hizo de manera adecuada mostrando reconocer la relación entre fuerza, velocidad y trayectoria.

El siguiente análisis particular de cada tarea, justifica lo afirmado con anterioridad:

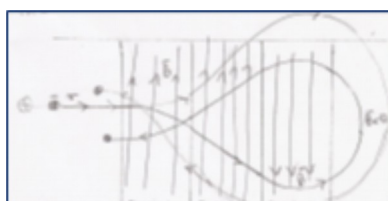
En la tarea de reconocer el campo magnético a partir de la trayectoria, los estudiantes **F2**, **F4**, **P2** y **P10** mostraron tener una mayor disponibilidad de los conceptos (y sus relaciones) para el campo conceptual en estudio, los cuales eran necesarios para establecer la dirección del campo magnético a partir de la trayectoria. A modo ilustrativo:

Figura 89: Representación correcta del campo magnético (P2, anexo 7, a)



Otros estudiantes, como **P7**, evidenciaron con su respuesta la falta de disponibilidad de representaciones de las relaciones entre campo-fuerza-trayectoria, mostrando como posible TA de la representación pictórica de campo “el campo magnético señala en el sentido en que se curva la trayectoria (como el campo eléctrico)”. A modo ilustrativo:

Figura 90: Representación incorrecta del campo magnético (P7, anexo 7, a)



En la tarea de ordenamiento de los campos: F2, F4 y P10 mostraron disponibilidad de representaciones de las relaciones entre trayectoria, fuerza magnética, campo magnético necesarias para reconocer la dependencia de características de la trayectoria (reconociéndola como circular e interpretando su radio), con la magnitud del campo magnético. Esta disponibilidad fue tanto de representaciones lingüísticas y simbólicas algebraicas de IOF (trayectoria, radio, campo) como en IOM (función). A modo de ejemplo:

“El criterio es tener en cuenta la relación entre el campo y el radio de la órbita.

$$F = qvB = \frac{mv^2}{R} \rightarrow R = \frac{mv}{qB} \quad \text{” (F4, anexo 7, c)}$$

“II < I < III = IV ...Utilicé el criterio de que R trayectoria $\propto mv/qB$, es inversamente proporcional al campo magnético. Región III = Región IV porque tienen el mismo radio.”

(P10, anexo 7, c)

Los estudiantes **P2** y **P7** mostraron baja disponibilidad conceptual en términos de relaciones que resulten operativas al momento de tomar decisiones: estos alumnos si bien evidenciaron poseer representaciones de relaciones fundamentales del campo conceptual, no pudieron transformarlas para poder responder al problema de “ordenar los campos”. Las argumentaciones de estos estudiantes fueron irrelevantes (en el caso de **P2**) o insuficientes para llegar a una conclusión valedera (**P7**). La argumentación de **P2** se considera irrelevante pues el estudiante no logró vincular variables físicas como la fuerza y el campo, con otras observables o deducibles directamente de la gráfica como es el radio:

Figura 91: Fundamentación de la ordenación de la magnitud de los campos (P2, anexo 7, c)

$|F| = |q_0| |v| |B| \sin \theta \Rightarrow |F| \propto |B|$ y en la Reg. III no hay campo.

Para los estudiantes **F2, F4, P7 y P10**, tanto los que respondieron correctamente como los que ordenaron mal los campos, el TA que se desprende es la relación entre radio de la trayectoria y magnitud del campo magnético. Para **P2** es la relación expresada simbólicamente entre fuerza magnética y campo, sin llegar a vincular con trayectoria.

En las **justificaciones de la trayectoria que sigue la carga** en el campo magnético, las respuestas de los estudiantes fueron dadas, en general en lenguaje verbal:

a) Caracterizando la fuerza magnética como fuerza centrípeta: (F2, F4 y P10: An.7, d)

“Al tener un campo magnético el electrón experimenta una fuerza centrípeta que le da la trayectoria circular.” (F4, anexo 7, d)

Las respuestas de F2, F4 y P10 recurre a los conceptos de **fuerza centrípeta, movimiento circular y campo magnético** y como posible TA: “el campo magnético produce en la carga una fuerza centrípeta”

“[...]. Además \vec{F} es una fuerza centrípeta su sentido señala el centro de la trayectoria circular...” (P10, anexo 7, d)

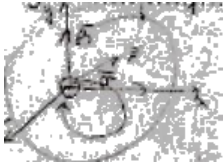
P10 caracterizó a la fuerza centrípeta, y lo dio como atributo de la fuerza magnética.

b) Caracterizando verbalmente la interacción entre campo y carga (P2, anexo 7, d)

“Porque la v es perpendicular al B y como B es entrante, la fuerza (por la regla de la mano derecha) da hacia arriba, pero al ser una carga – la fuerza es hacia abajo” (P2, anexo 7, d)

Para P2 un posible TA “**regla de la mano derecha**”

c) Caracterizando pictóricamente la interacción entre carga y campo:



“Porque su sentido viene dado por las agujas del reloj (sentido horario). La fuerza está dada $-k$.” (P7, anexo 7, d)

d) Caracterizando simbólicamente la interacción entre carga y campo: (P10, anexo 7, d):

“Porque el campo ejerce una fuerza sobre el electrón igual a $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$ donde el sentido de la misma por la regla de la mano derecha para el producto vectorial es hacia arriba, pero al tener el electrón carga negativa cambia el sentido hacia abajo. Además $\vec{F} \perp \vec{v}$ y \vec{v} es tangente a la trayectoria [...]” (P10, anexo 7, d)

P10 dispone de representaciones simbólicas de la relación entre fuerza, campo, carga y velocidad. De la respuesta de P10, se evidenció como posible TA “**La velocidad es tangente a la trayectoria en cada punto**” y “**El sentido de la velocidad acompaña la trayectoria**”.

Los estudiantes F2 y F4 no reconocieron el cambio en el tamaño de la trayectoria: ni verbal ni gráficamente, sólo cambiaron el sentido de giro: estos alumnos no parecen disponer de la relación entre radio-masa.

Al poner en juego la **relación entre velocidad, campo y radio**, para proponer cambios en la velocidad de modo que la carga no ingrese en una región, los estudiantes F2, P7 y P10 mostraron disponibilidad conceptual de los conceptos del campo conceptual del movimiento de cargas en campos. Esta disponibilidad se mostró en las representaciones verbales y simbólicas escritas para emitir una conclusión, transformando sus conocimientos en acto de manera de dar respuesta a los problemas. Ilustrando lo anterior:

“...disminuyo v porque como $F = qvB = mv^2/r \rightarrow r = mv/qB$ si disminuyo v el radio disminuye.” (F2, anexo 7, g)

En estas respuestas correctas los estudiantes recurrieron a la relación de proporcionalidad entre radio y velocidad, y en el estudiante P10 completó su razonamiento:

“[...] si disminuyo la velocidad disminuye el radio R de la trayectoria, entonces se torna una circunferencia pequeña en la región I sin permitirle al electrón pasar a la región II”. (P7, anexo 7, g)

En la **caracterización de la interacción magnética**, como la propiedad de no modificar la magnitud de la velocidad de la carga, el estudiante **F2** mostró una alta disponibilidad de esta propiedad al reconocer que la rapidez en las dos regiones es la misma:

“Porque un campo magnético cambia la dirección de la velocidad pero no su rapidez” (F2, anexo 7, b).

El estudiante **P2** también reconoció esta propiedad de la fuerza magnética, pero no pudo argumentar de manera lingüística: *“porque es constante”*(P2, anexo 7, b); así la disponibilidad conceptual de este estudiante es baja, al no poder ser expresada mediante afirmaciones de conocimiento. Otros estudiantes, como **F4** mostraron no disponer de la propiedad citada de la fuerza magnética, al reconocer que en ausencia de campo no hay cambio de velocidad (empleando IOF del campo conceptual de la mecánica), pero sin reconocer el comportamiento de la interacción magnética en la región I. Las respuestas de **P7** y **P10** fueron imprecisas o con errores, por ejemplo:

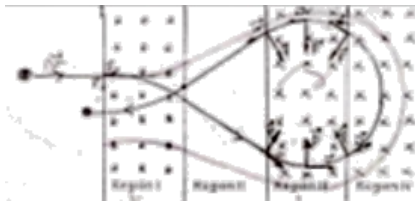
“ $|\vec{v}|=90\text{ m/s}$ [en las dos regiones]...porque la velocidad es constante, ya que la $\vec{a}=0$, pues si fuera distinta de cero existiría otra fuerza actuante dependiente de la masa. Esta es despreciable porque la masa es ínfima” (P10, anexo 7, b).

Este estudiante **P10** reconoce que el módulo de la velocidad permanece constante, pero luego alude en su explicación a “velocidad constante ya que la aceleración es cero”. No muestra

disponer de los IOM representativos de conceptos físicos como “derivada de un vector” necesario para reconocer que cuando hay aceleración la velocidad cambia, aunque no lo haga su módulo. Este estudiante que diferenció claramente en la notación simbólica “módulo” de “vector” no mostró disponibilidad de significados para interpretar en expresión lingüística, desde la propiedad de la fuerza magnética, lo que afirmó simbólicamente.

En las **representaciones de los vectores correspondientes a la fuerza que actúa sobre la carga en movimiento**, todos los estudiantes reconocieron la presencia de esta fuerza, pero solamente **F2**, **F4**, y **P10** mostraron representaciones pictóricas correctas dando cuenta de la disponibilidad del concepto de fuerza, y de su relación con la trayectoria. A modo ilustrativo:

Figura 92: Representación correcta de la fuerza sobre la carga eléctrica (P10, anexo 7, e)

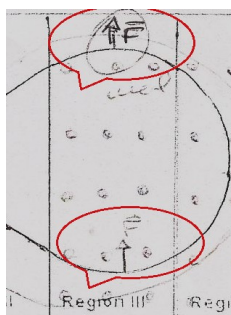


Las representaciones pictóricas mediante “flechas” de los estudiantes **P2** y **P7** fueron incorrectas: el estudiante **P2** no posee la disponibilidad conceptual necesaria para relacionar “fuerza” y “trayectoria”, y dibujó la fuerza en dos puntos de la trayectoria en el mismo sentido, como si se tratara de un campo eléctrico uniforme. El estudiante **P7** representa de manera descontextualizada, es decir fuera de la trayectoria, la carga, velocidad, campo y fuerza, mostrando reconocer la relación entre estos vectores, pero no así la relación entre la fuerza y la trayectoria. A modo de ilustrativo:

Figura 93: Representación descontextualizada de la fuerza sobre la carga eléctrica (P7, an. 7, e)



Figura 94: Representación incorrecta de la fuerza sobre la carga eléctrica (P2, anexo 7, e)



Esta dificultad de representar con flechas la fuerza a partir de la trayectoria por parte de los estudiantes **P2** y **P7**, podría indicar la falta de comprensión de la relación entre fuerza-trayectoria, la que requiere de un mayor nivel de conceptualización que el sólo representar la fuerza a partir del campo y la velocidad.

En la consigna de **dibujar la trayectoria que seguiría un protón en este mismo campo**, y justificar la misma, todos los estudiantes reconocieron que la trayectoria sería distinta. Los alumnos **F2**, **P2**, **P7** y **P10** dibujaron correctamente la nueva trayectoria, diferenciando el sentido de recorrido, pero el estudiante **F4** que reconoció el cambio en el recorrido, no pudo representarlo de manera gráfica. Todos los estudiantes verbalmente declararon un cambio en la trayectoria, por ejemplo:

“Lo que cambiaría sería el sentido, que sería antihorario. El agrandamiento sería $R \propto m$ ” (P7, anexo 7, f)

“La trayectoria sería inversa ya que la fuerza estaría dirigida hacia otro lado” (F4, anexo 7, f)

“La fuerza cambia de sentido al ser $q > 0 \rightarrow \vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ cambia; es opuesta a la del electrón. Además en esta $F_{centrípeta}$ el radio $R \propto m \rightarrow$ si es un protón la masa aumenta y por ello el radio de la trayectoria también lo hace (en las regiones donde $|\vec{B}| \neq 0$): donde $B = 0$ la trayectoria sigue siendo la de un MRU”(P10, anexo 7, f)

Sólo **P7** y **P10** reconocieron el cambio también en la forma (P7 y P10, en anexo 7, f):

“[...] El agrandamiento sería $R \propto m$ ” (P7, anexo 7, f)

“[...] en esta $F_{centrípeta}$ el radio $R \propto m \rightarrow$ si es un protón la masa aumenta y por ello el radio de la trayectoria también lo hace...” (P10, anexo 7, f)

En sus representaciones gráficas de las trayectorias, se mostró la concordancia entre lo expresado verbalmente en los dibujos de **P7**, **P10**. El estudiante **P2** que no declaró verbalmente el aumento de radio, sí lo reconoció al dibujar la nueva trayectoria. A modo ilustrativo:

Figura 95: trayectoria del protón y el electrón (P10, anexo 7, f)

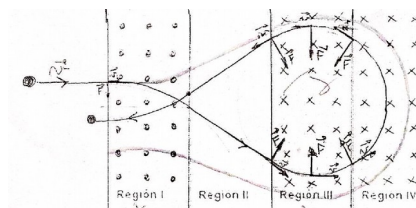
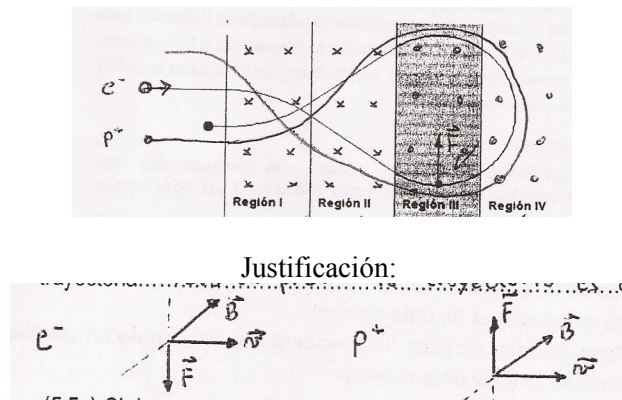


Figura 96: Representación y justificación de la trayectoria del protón (F2, anexo 7, f)



De las respuestas de los estudiantes en esta última prueba se observa que han recurrido a las representaciones simbólicas algebraicas complementando a las expresiones verbales, con mayor frecuencia que en pruebas anteriores. Este aspecto de recurrir a las definiciones operacionales de las relaciones entre conceptos (relación radio-carga, fuerza-velocidad-campo), estaría mostrando una comprensión mayor del “movimiento de cargas en campos magnéticos”, respecto a la manifestada en las pruebas anteriores. El empleo de representaciones diversas para los IOF e IOM evidenciaría, según la teoría de Vergnaud (1998), una mayor apropiación del campo conceptual bajo estudio.

La resolución de problemas más complejos, como puede ser el anticipar cómo modificar la velocidad para que la carga no ingrese al campo, llevó a los estudiantes a poner en juego su disponibilidad conceptual del concepto de movimiento de cargas en campos. Y de las respuestas brindadas en las justificaciones, se observa que algunos alumnos muestran aun una baja disponibilidad del concepto (sea por respuestas y argumentaciones incorrectas, que indicarían la imposibilidad de transformar adecuadamente el conocimiento en acto, o por respuestas incompletas sin justificaciones, que también mostrarían que el estudiante parece

reconocer el fenómeno, pero carece de las herramientas para transformar en expresión escrita las relaciones necesarias para dar explicación).

Posibles IOF (invariantes operatorios físicos):

I) Significados:

Trayectoria (Todos los alumnos: Anexo 7, f)

Movimiento circular (F2, anexo 7, d. Todos los alumnos: Anexo 7, f)

Velocidad (Todos los alumnos: Anexo 7, b)

Fuerza (P10: Anexo 7, b. Todos los alumnos pictórica: Anexo 7, e. F4, P2 y P10: Anexo 7, f. F2 y P2: Anexo 7, g)

Campo magnético (F2, F4, P2 y P10: Anexo 7, a. F2 y F4: Anexo 7, b. Todos los alumnos: Anexo 7, c y d. F2 y P10: Anexo 7, f. F2, P2 y P7: Anexo 7, g)

Radio (Todos los alumnos: Anexo 7, c. F2: anexo 7, d. P7 y P10: Anexo 7, f. F2 y P10: Anexo 7, g.)

II) Relaciones:

Del campo conceptual del electromagnetismo:

Entre campo magnético y cambio en el movimiento/trayectoria (F2, F4: Anexo 7, b; F2, F4, P10: Anexo 7, d)

“Porque un campo magnético cambia la dirección de la velocidad pero no su rapidez” (F2, anexo 7, b)

“[...] la velocidad es constante por no haber campo que afecte su trayectoria” (F4, anexo 7, b)

“[...] una carga dentro de un campo magnético hace un movimiento circular con radio

$$R = \frac{mv}{qB} \quad \text{” (F2, anexo 7, d)}$$

“[...]campo magnético el electrón experimenta una fuerza centrípeta que le da la trayectoria circular” (F4, anexo 7, d)

“...el campo ejerce una fuerza [...] \vec{F} es una fuerza centrípeta su sentido señala el centro de la trayectoria circular.”(P10, anexo 7, d)

Entre fuerza-carga-campo(F4, P2, P10:Anexo 7, c. P10: Anexo 7,d y f)

“ $F=qvB$ ” (F4, Anexo 7, c)

“ $|\vec{F}|=|q||v||B|\text{sen}\theta$ ” (P2, Anexo 7, c)

“ $\vec{F}=q\vec{v}\times\vec{B}$ ” (P10, Anexo 7, d)

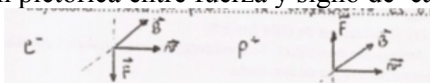
Entre fuerza y signo de la carga (Todos los alumnos: Anexo7, d)

“Porque la v es perpendicular al B y como B es entrante, la fuerza (por la regla de la mano derecha) da hacia arriba, pero al ser una carga – la fuerza es hacia abajo” (P2, anexo 7, d)

“Porque el campo ejerce una fuerza sobre el electrón igual a $\vec{F}=q\vec{v}\times\vec{B}$ donde el sentido de la misma por la regla de la mano derecha para el producto vectorial es hacia arriba, pero al tener el electrón carga negativa cambia el sentido hacia abajo”(P10, anexo 7, d)

“[...] al ser $q > 0 \rightarrow \vec{F}=q\vec{v}\times\vec{B}$ cambia; es opuesta a la del electrón” (P10, anexo 7, f)

Figura 97: relación pictórica entre fuerza y signo de carga (F2, anexo 7, f)

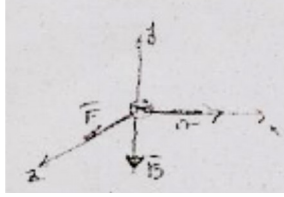


Entre fuerza y velocidad (P2, P10:Anexo 7 d. P7, P10: Anexo7, e. P7:Anexo 7, g)

“[...] v es perpendicular al B y como B es entrante, la fuerza (por la regla de la mano derecha) da hacia arriba” (P2, anexo 7, d)

“[...] $\vec{F} \perp \vec{v}$ y \vec{v} es tangente a la trayectoria...” (P10, anexo 7, d)

Figura 98: Representación de la fuerza en la trayectoria (P7, anexo 7, e)



[...]

Entre radio, velocidad, campo, carga y masa (F2: Anexo 7, d. P10: Anexo 7, f. F2, P7: Anexo 7, g)

“El electrón sigue esa trayectoria porque una carga dentro de un campo magnético hace un

movimiento circular con radio $R = \frac{mv}{qB}$ ” (F2, anexo 7, d)

“[...] en esta Fcentrípeta el radio $R \propto m \rightarrow$ si es un protón la masa aumenta y por ello el radio de la trayectoria también lo hace” (P10, anexo 7, f)

“ $F = qvB = mv^2/r \rightarrow r = mv/qB$ ” (F2, anexo 7, g)

“[...] el radio de la circunferencia es proporcional con la velocidad, entonces si disminuyo la velocidad disminuye el radio y por tanto no entraría en otras regiones $r = mv/IqIB$ ” (P7, anexo 7, g)

IOM (invariantes operatorios matemáticos):

I) Significados:

Circunferencia-trayectoria circular (F2, F4 y P10: Anexo 7, d)

“[...] una carga dentro de un campo magnético hace un movimiento circular con radio

$$R = \frac{mv}{qB} \quad \text{” (F2, anexo 7, d)}$$

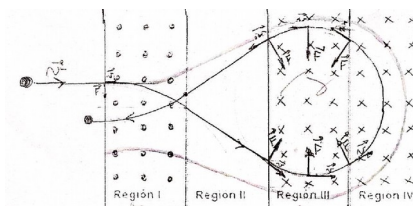
“[...] campo magnético el electrón experimenta una fuerza centrípeta que le da la trayectoria circular” (F4, anexo 7, d)

“...el campo ejerce una fuerza [...] \vec{F} es una fuerza centrípeta su sentido señala el centro de la trayectoria circular.”(P10, anexo 7, d)

Función fuerza (como campo vectorial) (P2:Anexo 7, f. P10:Anexo 7, e)

“La fuerza de cada región cambia el sentido, porque al ser una carga + (por regla de la mano derecha) con v y B , la fuerza queda como da la regla” (P2, Anexo 7, f)

Figura 99: Trayectoria del protón y el electrón (P10, anexo 7, e)

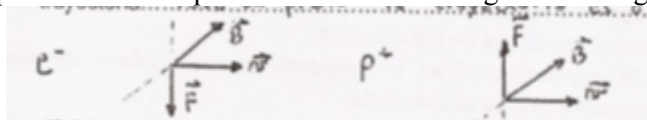


II) Operaciones y propiedades:

Producto escalar-vector (al invertir el sentido de movimiento al cambiar el signo de carga)

(P7: Anexo 7, c. F2, P2, P10:Anexo 7, d)

Figura 100: Representación del producto al cambiar el signo de la carga (F2, anexo 7, d)



Regla de la mano derecha (P2 y P10: Anexo 7, d.P2: Anexo 7, f)

“[...] la fuerza (por la regla de la mano derecha) da hacia arriba” (P2, anexo 7, d)

“ $\vec{F}=q\vec{v}\times\vec{B}$ donde el sentido de la misma por la regla de la mano derecha para el producto vectorial es hacia arriba” (P10, anexo 7, d)

“La fuerza de cada región cambia el sentido, porque al ser una carga + (por regla de la mano derecha) con v y B , la fuerza queda como da la regla” (P2, anexo 7, f)

Producto vectorial (P7: Anexo 7, c. F2, P7, P10:Anexo 7, d)

“ $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$...” (P10, anexo 7, d)

Figura 101: Representación del producto vectorial (F2, anexo 7, d)

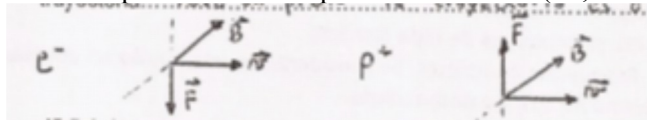
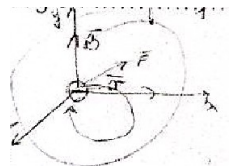


Figura 102: Representación del producto vectorial (P7, anexo 7, c)

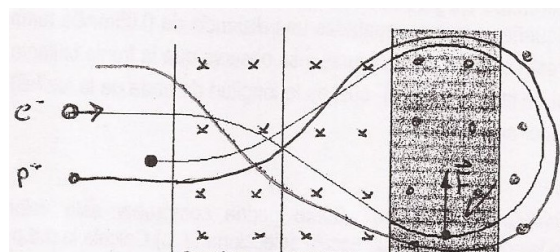


RF (representaciones físicas):

I) Representaciones pictóricas:

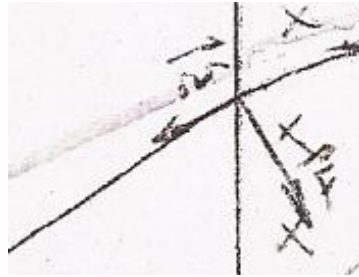
Trayectoria (Todos los estudiantes: Anexo 7, f).

Figura 103: Representación de la trayectoria (F2, Anexo 7, f)



Velocidad de carga eléctrica en movimiento en región con campo (P10: Anexo 7, e)

Figura 104: Representación de la velocidad en la trayectoria (P10: Anexo 7, e)



Fuerza sobre la carga en movimiento (F2, F4, P2 y P10: Anexo 7, e).

Figura 105: Representación de fuerza magnética (F4, anexo 7, e)

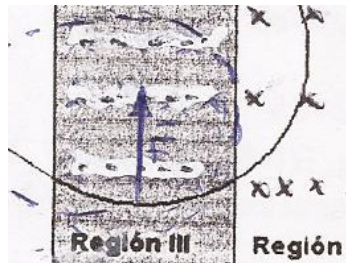
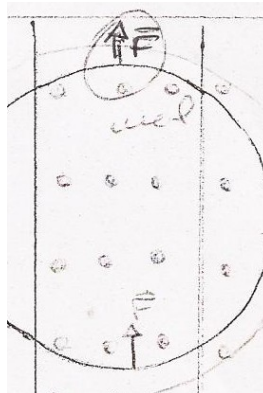


Figura 106: Representación incorrecta de fuerza magnética (P7, anexo 7, e)



II) Representaciones verbales lingüísticas:

Proporcionalidad: (P7: anexo 7, c y f)

“el radio es inversamente proporcional al B manteniendo constante v, a mayor radio menor B”

(P7, anexo 7, c)

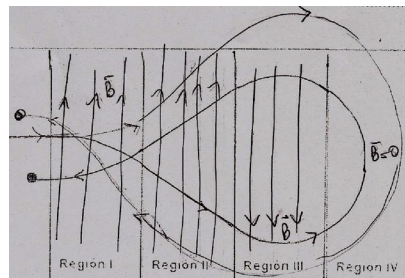
“[...]El agrandamiento sería $R \propto m$ ” (P7, anexo 7, f)

RM (representaciones matemáticas):

I) Representaciones pictóricas:

Trayectorias (Todos los estudiantes: Anexo 7, f)

Figura 107: Trayectoria de carga positiva en campo magnético (P10, anexo 7, f)



De vectores: Fuerza y/o velocidad (P7: Anexo 7, d. P2: Anexo 7, f. Todos los estudiantes en Anexo 7, e).

Líneas de campo (F2, F4, P2 y P10 –correctamente-: Anexo 7, a).

Figura 108: Representación correcta de líneas de campo (P2, Anexo 7, a)

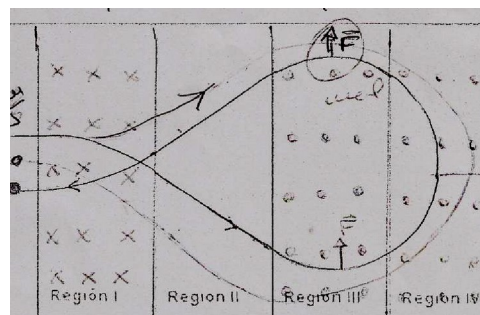
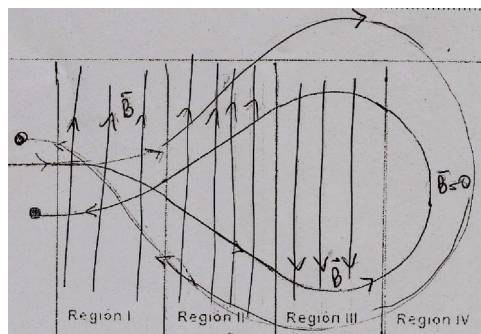


Figura 109: Representación incorrecta de líneas de campo (P7, Anexo 7, a)



II) Representaciones algebraicas:

Relación entre fuerza y campo

En forma vectorial: $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$ (P10: anexo 7, d, f)

En forma escalar: $F = qvB$ (F4, P2: Anexo 7, c. F2, P2, P10: Anexo 7, g)

Segunda Ley de Newton: $\vec{F}_c = m \vec{a}_c$ (F4, anexo 7, c. F2, P10: anexo 7, g)

Radio de la trayectoria: $R = \frac{mv}{qB}$ (F2, F4, P2 y P10: Anexo 7, c. F2: Anexo 7, d. F2, P7,

P10: Anexo 7, g)

Posibles TA:

i) De caracterización de la fuerza magnética

-el campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento (F4, P2, P10: Anexo 7, d)

“[...] el electrón experimenta una fuerza centrípeta que le da la trayectoria circular” (F4, Anexo 7, d).

“[...] la v es perpendicular al B y como B es entrante, la fuerza (por la regla de la mano derecha) da hacia arriba” (P2, Anexo 7, d)

“El campo ejerce una fuerza sobre el electrón igual a $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$ ” (P10, Anexo 7, d)

-el campo magnético cambia el movimiento de la carga (F2 y F4: Anexo 7, c)

“Porque un campo magnético cambia la dirección de la velocidad pero no su rapidez” (F2, anexo 7, c)

“...la velocidad es constante por no haber campo que afecte su trayectoria” (F4, anexo 7, c)

-la fuerza magnética es perpendicular a la velocidad (P10: Anexo 7, d. P7 y P10: Anexo 7, e. F2: Anexo 7, f.)

“Además $\vec{F} \perp \vec{v}$ y \vec{v} es tangente a la trayectoria.” (P10: Anexo 7, d.)

Figura 110: Representación de la fuerza magnética y la velocidad (P7, Anexo 7, e)

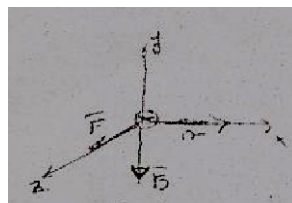
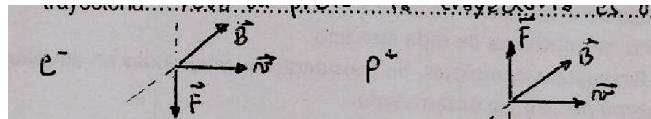


Figura 111: Representación de la fuerza magnética y la velocidad (F2, Anexo 7, f)



ii) de caracterización de la trayectoria

-La carga en el campo magnético realiza un movimiento circular (Verbalmente: F2, F4, P10: Anexo 7, d. Gráficamente: todos los alumnos en Anexo 7, f)

“...una carga dentro de un campo magnético hace un movimiento circular con radio

$$R = \frac{mv}{qB} \quad \text{” (F2, Anexo 7, d).}$$

“El electrón experimenta una fuerza centrípeta que le da la trayectoria circular” (F4, Anexo 7, d).

“ \vec{F} es una fuerza centrípeta su sentido señala el centro de la trayectoria circular” (P10, Anexo 7, d)

-El signo de la carga determina el sentido de giro(F2, F4, P2, P7, P10: Anexo 7, f)

“Para un protón la trayectoria sería distinta” (F2, Anexo 7, f)

“[...] la trayectoria sería inversa” (F4, Anexo 7, f)

“La fuerza de cada región cambia el sentido, porque al ser una carga + (por regla de la mano derecha) con v y B , la fuerza queda como da la regla: o sea opuesta a la del electrón” (P2, Anexo 7, f)

“...cambiaría sería el sentido, que sería antihorario” (P7, Anexo 7, f)

“La fuerza cambia de sentido al ser $q > 0 \rightarrow \vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ cambia; es opuesta a la del electrón.” (P10, Anexo 7, f)

-El radio de la trayectoria es proporcional a la velocidad (F2, P2, P7, P10: Anexo 7, g)

“...Si disminuyo v , el radio disminuye” (F2, Anexo 7, g)

“ $R \propto v$ ” (P2, Anexo 7, g)

“[...] el radio de la circunferencia es proporcional con la velocidad, entonces si disminuyo la velocidad disminuye el radio” (P7, Anexo 7, g)

“Si disminuyo la velocidad disminuye el radio R de la trayectoria[...] se forma una circunferencia pequeña en la región I...” (P10, Anexo 7, g)

-El radio de la trayectoria es proporcional a la masa (P7 y P10: Anexo 7, f)

“El agrandamiento [de la trayectoria] sería $R \propto m$ ” (P7, Anexo 7, f)

“ $F_{centrípeta}$ el radio $R \propto m \rightarrow$ si es un protón la masa aumenta y por ello el radio de la trayectoria también lo hace (en las regiones donde $|\vec{B}| \neq 0$)” (P10, Anexo 7, f)

-El campo es inversamente proporcional al radio de la trayectoria (F2, F4, P7, P10: Anexo 7, c.)

“Porque $B = mv/qr$, mientras más grande es el radio menor será la intensidad de B ” (F2, Anexo 7, c)

$$R = \frac{mv}{qB} \quad \text{(F4, Anexo 7, c)}$$

“Como el radio es inversamente proporcional al B manteniendo constante v , a mayor radio menor B ” (P7, Anexo 7, c)

“ $R_{\text{trayectoria}} \propto mv/qB$, es inversamente proporcional al campo magnético” (P10, Anexo 7, c)

-Regla de la mano derecha determina la fuerza (P2 y P10: Anexo 7, d. P2: Anexo 7, f)

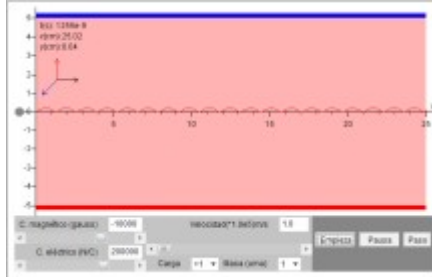
“Porque la v es perpendicular al B y como B es entrante, la fuerza (**por la regla de la mano derecha**) da hacia arriba, ...” (P2, Anexo 7, d)

“... $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ donde el sentido de la misma **por la regla de la mano derecha** para el producto vectorial es hacia arriba...” (P10, Anexo 7, d)

“porque al ser una carga + (**por regla de la mano derecha**) con v y B , la fuerza queda como da la regla” (P2, Anexo 7, f)

CAPÍTULO 4:

En este último Capítulo de algunas conclusiones derivadas de los resultados de esta investigación.



CONCLUSIONES

la tesis se presentarán generales y consideraciones obtenidos en el desarrollo de

Para esta exploración se diseñaron e implementaron situaciones diversas que permitieran indagar sobre los invariantes operatorios empleados por los estudiantes en el campo conceptual del Electromagnetismo, antes y después del uso de una estrategia mediada por TIC, adoptando como marco teórico la Teoría de los Campos Conceptuales de Gerard Vergnaud (op.cit.).

Por ser una indagación de tipo cualitativa, limitada a un pequeño grupo de seis estudiantes seleccionado intencionalmente de una población que cursara los contenidos de Electromagnetismo en dos instituciones de Nivel Superior (universitario y no universitario), Facultad (grupo F) y Profesorado (grupo P), los resultados y las conclusiones sólo serán aplicables a esta muestra. Se intentó lograr en esta averiguación una aproximación a las asignaciones de significados realizadas por este pequeño grupo de estudiantes a un concepto particular en el marco de un tema específico de su carrera profesional.

Estos resultados y conclusiones se obtuvieron de interpretar siete informes escritos presentados por los estudiantes de ambas instituciones, en forma grupal e individual, en distintos momentos del cursado de la asignatura Física II. Los informes consistieron en la

resolución de diversas situaciones elaboradas especialmente para indagar los posibles IO (Invariantes operatorios) de los alumnos.

El diseño de las situaciones presentadas al grupo fue realizado por la profesora responsable del dictado de la materia en ambos grupos (P y F). También esta profesora se ocupó de la administración de las tareas, el seguimiento y la evaluación de las mismas. Estas situaciones fueron monitoreadas, en el grupo de la Facultad (F), por los demás docentes que conforman el equipo de cátedra, en el marco del desarrollo de la asignatura en la cual se presentaron. En el grupo del Profesorado (P) la docente no cuenta con otros miembros en la cátedra.

4.1. Conclusiones generales

Así, no obstante ser una investigación que no admite (ni pretende) generalizar resultados, las derivaciones de la misma permiten reconocer aspectos de las situaciones presentadas a los alumnos que facilitan la construcción de significados, mediante el uso de variadas representaciones. Entre las representaciones a las que recurrieron los estudiantes durante las diferentes situaciones se encuentran las representaciones pictóricas (esquemas, gráficos cartesianos, tablas, imágenes o pantallas), las representaciones lingüísticas o verbales (afirmaciones de conocimiento, predicciones de comportamientos) y las representaciones algebraicas o simbólicas (mediante fórmulas o expresiones de relaciones empleando símbolos matemáticos).

En líneas generales, y teniendo en cuenta los objetivos de esta indagación, se puede afirmar:

- El grupo mostró inicialmente disponibilidad de conceptos del campo conceptual de la Matemática (vector, función escalar), de la Mecánica (movimiento, aceleración) y algunas

relaciones entre ellos, las cuales fueron representadas especialmente en lenguaje verbal de manera incompleta, y en lenguaje algebraico simbólico, escasamente, ante ejercicios, preguntas y problemas en los cuales los estudiantes debían identificar magnitudes escalares y vectoriales, realizar operaciones algebraicas entre vectores en forma analítica, caracterizar el movimiento de un cuerpo a partir de su trayectoria, hallar por tabla y graficar un campo vectorial dado mediante fórmula, y resolver un ejercicio de movimiento de proyectiles en campo gravitacional uniforme (ver Anexo 1).

- Al inicio del curso, en la actividad de diagnóstico inicial (ver Anexo 1), en la tarea en la que se les pedía construir una tabla de función y graficar campos vectoriales dados por fórmula, los alumnos mostraron disponer de los IOM (Invariantes operatorios matemáticos) mediante relaciones para hallar campos vectoriales por tabla; sin embargo no disponían de relaciones del campo conceptual de la Matemática para representar gráficamente estos campos vectoriales en el plano cartesiano: sus representaciones gráficas consistieron en vectores con origen compartido en el origen de coordenadas. Esta dificultad para representar por gráfica un campo vectorial puede constituirse en un obstáculo para reconocer el movimiento de cargas en campos electromagnéticos, dado que esos campos vectoriales son propiedades del espacio y no están localizados en un único punto. Esta debilidad observada en las respuestas de los estudiantes del grupo, relativas a la imposibilidad de relacionar el concepto algebraico de campo (y su representación por fórmula) con su representación gráfica, puede vincularse con las conclusiones a las que arribaron Llancaqueo et al. (2003) relativas a la falta (o escasa) disponibilidad de relaciones (algebraicas, pictóricas y analíticas) entre conceptos, necesarias para poder operar con los mismos en una situación particular (por ejemplo: graficación del campo vectorial, cálculo del trabajo realizado por un campo de fuerzas).

- En otra tarea del diagnóstico inicial, relativa al movimiento de proyectiles, Anexo 2, en la que los estudiantes debían identificar la trayectoria, jerarquizar por orden de importancia los factores de los cuales depende el movimiento del proyectil, dibujar la fuerza en algunos puntos de la trayectoria y analizar el modo en que diferentes factores afectan a la trayectoria, algunos alumnos, particularmente del grupo P (Profesorado), mostraron disponer inicialmente de manera parcial del conocimiento de superposición de movimientos, evidenciado en la adecuada representación de la trayectoria de un proyectil al modificar la velocidad de lanzamiento, aunque no lo pudieran representar simbólicamente mediante relaciones algebraicas. Los alumnos del grupo F (Facultad) mostraron dificultades para identificar correctamente la trayectoria de proyectiles en tiro oblicuo. Este conocimiento de “movimiento de proyectiles” se considera *parcialmente logrado* por parte de algunos estudiantes en la medida en que éstos no pudieron cuantificar el efecto de la modificación de la velocidad de lanzamiento. Este es un resultado que ilustra la falta de disponibilidad, mediante representaciones algebraicas, de las relaciones entre parámetros que afectan el movimiento del proyectil, y puede relacionarse con el comunicado por Llancaqueo et al. (2003), el cual informa que los estudiantes logran un mejor desempeño en cuestiones que requieran el uso de representaciones pictóricas (tipo imagen de trayectoria) por sobre el uso de representaciones analíticas de tipo proposicional (como las relaciones algebraicas entre variables). Conocer el movimiento de proyectiles en campo gravitacional uniforme es valioso dado que, si realmente los alumnos logran apropiarse de los significados y modelos aprendidos (en el campo conceptual de la Mecánica), tendrían mayor disponibilidad de conceptos y relaciones para justificar trayectorias en presencia de otros campos, no

necesariamente verticales hacia abajo, como son los campos que estudiarán en Electromagnetismo.

- En las actividades mediadas por TIC correspondientes al estudio del movimiento de cargas en distintos campos eléctricos uniformes (Anexo 3), los alumnos presentaron respuestas con diferentes niveles de argumentación en las cuales emplearon, esencialmente, la representación lingüística de manera incompleta. Algunos estudiantes mostraron una progresiva apropiación de los conceptos de campo y carga, mientras que otros respondieron recurriendo esencialmente a significados y relaciones del campo conceptual de la Mecánica (Por ejemplo, ideas de fuerza, aceleración, movimiento, y relaciones como: “a mayor velocidad mayor alcance” o “a mayor fuerza menor tiempo de recorrido”).
- En el informe de la actividad de laboratorio virtual mediado por TIC (Anexo 3), entre los alumnos del grupo F (Ingeniería) dominó la explicación basada en la atracción o repulsión de cargas según su signo, y los estudiantes del grupo P (Profesorado) presentaron mayor cantidad de respuestas empleando el concepto de campo eléctrico. Algunos estudiantes mostraron que aún no habían construido completamente significados inherentes al movimiento de proyectiles. En estas tareas hubo prevalencia de explicaciones de tipo cualitativas, sin establecimiento de relaciones cuantificables, al momento de predecir comportamientos al modificar factores responsables del movimiento de la carga en el campo. Así, pareciera que el uso de TIC como situación de enseñanza en esta etapa no ha influido en la construcción de significados relativos al movimiento.
- De la primera etapa correspondiente a las situaciones relacionadas al movimiento de cargas en campos eléctricos, los posibles invariantes operatorios de este grupo son significados del

campo conceptual de la Mecánica (trayectoria, fuerza, velocidad) y del campo conceptual del Electromagnetismo (carga y fuerza). El concepto de campo y las relaciones entre campo y fuerza para dar cuenta de la interacción eléctrica, es usado por la mitad del alumnado en las actividades post laboratorio. Este resultado es consistente con el diagnóstico presentado por Sandoval y Mora (2009) al referirse a las dificultades que muestran los estudiantes universitarios al cursar Electromagnetismo, no obstante haber tenido buenos resultados en el curso anterior de Mecánica; dificultades que se corresponden con la necesidad de comprender las interacciones mediadas por campos y que van más allá de sus experiencias en Mecánica.

- Todos los estudiantes realizan representaciones pictóricas adecuadas de campo eléctrico uniforme mediante líneas de campo, y de velocidad de carga eléctrica en movimiento y diagrama de cuerpo libre, mediante flechas representativas de vectores. Nuevamente, como se indicó con anterioridad recurriendo a las conclusiones de Llancaqueo et al. (2003), se muestra el dominio de las representaciones icónicas por sobre las verbales y simbólicas en todos los estudiantes, antes y después de actividades especialmente diseñadas para fomentar la verbalización de argumentos. El empleo del recurso virtual pareciera influir de manera importante en el uso de estrategias de representación icónica por parte de los estudiantes, por sobre otras, como verbales o simbólico algebraicas.
- En la primera etapa de la investigación correspondiente al movimiento de cargas en campo electrostático, la “*ley de cargas*” (cargas de igual signo se repelen y cargas de signos distintos se atraen) junto con la “*proporcionalidad*” (por ejemplo “*si la velocidad aumenta...el alcance también aumenta...*”) son utilizadas por muchos alumnos para dar sus argumentos antes y después del uso de TIC relativos al movimiento en campos eléctricos,

constituyéndose en un posible teorema en acto para estos estudiantes. En particular, los alumnos de grupo F recurren asiduamente en sus explicaciones a la “*ley de cargas*”, mientras que mayoritariamente los estudiantes del grupo P hicieron referencia en todas sus explicaciones a la *relación carga-campo-fuerza* (por ejemplo, “... *al aumentar E aumenta la fuerza eléctrica sobre la carga...*”). En ambos grupos se recurre a la “*proporcionalidad*” pero en mayor medida en los alumnos del grupo F. El uso de TIC no pareciera haber influido produciendo reestructuraciones en los esquemas mentales, por lo que se muestra en las explicaciones dadas por parte del grupo F.

- En esta primera etapa, en todo el grupo prevalecieron las explicaciones de tipo cualitativas al momento de predecir comportamientos al modificar factores, sin establecimiento de relaciones cuantificables; en estas explicaciones las respuestas “*si es más grande...*”, “*si aumenta...*”, no sólo son cualitativas sino que no se cotejan con el uso de la herramienta virtual para inducir comportamientos cuantificables, dando indicios del antes citado y posible TA “*proporcionalidad directa*”.
- En escasas ocasiones los estudiantes recurrieron a relaciones matemáticas, mediante representaciones algebraicas de operaciones y propiedades; tal es el caso de las relaciones “ $F = qE$; $F = ma$ ” para dar cuenta de leyes físicas. En general los alumnos no validaron sus afirmaciones recurriendo a relaciones algebraicas cuantificables entre los parámetros: se limitaron a mostrar como garantías de sus argumentaciones las pantallas y a dar respuestas verbales que describieron el comportamiento observado de manera poco precisa.
- En la última fase de la primera etapa, en la situación de post laboratorio de movimiento de cargas puntuales en campos eléctricos (Anexo 4), menos de la mitad de los estudiantes del grupo recurrió a representaciones simbólicas algebraicas para sus explicaciones de las

relaciones entre variables y sólo un alumno realizó argumentaciones lingüísticas mostrando relaciones cuantitativas. Estas dificultades de explicitación de relaciones mediante el uso de representaciones simbólicas, utilizando un lenguaje algebraico adecuado, pueden interpretarse como sugiere Llancaqueo et al (2003) desde la Teoría de Vergnaud, en el sentido que involucran un mayor nivel de conceptualización del que parecen no disponer, inicialmente, los estudiantes. Estos mismos estudiantes en la fase anterior (laboratorio virtual de campo eléctrico) tampoco recurrieron al lenguaje simbólico algebraico para expresar las relaciones entre las variables. Así, en general el empleo de TIC parece no influir directamente en la construcción de conceptos mediante el uso de otras representaciones no icónicas.

- Los alumnos del grupo en estudio muestran disponer de las relaciones entre los conceptos del campo conceptual de la Mecánica: trayectoria, velocidad y fuerza (con generalizaciones correspondientes a la fuerza eléctrica), suficientes para interpretar comportamientos sencillos a partir de la trayectoria de una carga en una región del espacio en el cual existe un campo eléctrico uniforme; estas relaciones vinculan signo de la carga y sentido de la fuerza.
- También todos los estudiantes pueden realizar representaciones matemáticas del tipo icónicas, al dibujar las líneas de campo, pero esto sólo lo pueden lograr de manera completa cuando se incorpora la información de las fuentes del campo eléctrico (placas planas paralelas y sus cargas).
- Cuando la tarea corresponde a la representación gráfica (de tipo pictórica) del campo, pero no se da la información de las placas –fuentes de campo eléctrico- sino la trayectoria de una carga, sólo dos alumnos pueden responder correctamente, mientras que al dibujar el campo eléctrico entre dos placas planas cargadas, todos los alumnos lo hicieron correctamente. Esta respuesta mostraría una superioridad en los invariantes operatorios de los que parecen disponer estos dos estudiantes, y en particular, la disponibilidad de relaciones entre campo-fuerza-trayectoria y sus transformaciones, necesarias para poder inferir características

del campo manifestadas a través de las líneas de campo. El resto de los estudiantes tiene una baja disponibilidad conceptual en términos de relaciones entre conceptos para hacer frente al problema, en particular algunos estudiantes no reconocieron en las diferentes trayectorias un campo diferente: dibujaron todos los campos idénticos, como lo hicieron al dar las placas. Estos resultados son concordantes con los analizados en las conclusiones del trabajo de Llancaqueo et al. (2003) relativas a las dificultades de los estudiantes al enfrentar la resolución de problemas, en el sentido que un bajo nivel de conceptualización se caracteriza por bajos niveles de explicitación de invariantes y sus operaciones.

- En algunos alumnos del grupo F (alumnos de ingeniería) las representaciones empleadas al finalizar la primera etapa correspondiente al movimiento en campo eléctrico, darían cuenta que la conceptualización del tema se encuentra en un nivel incipiente, lo cual se muestra en respuestas contradictorias entre distintos ítems correspondientes a la resolución de problemas más complejos: deducir magnitud de campo o decidir la dirección del campo eléctrico en distintas regiones del espacio. Uno de estos estudiantes no reconoció la presencia de campos eléctricos diferentes en cada región del espacio, pero pudo presentar una estrategia para determinar la magnitud del campo eléctrico en una región particular. El otro alumno pudo representar correctamente mediante líneas de campo el campo eléctrico en cada región del espacio, a partir de la información de la trayectoria, pero al momento de proponer una estrategia para hallar el valor del campo eléctrico en una región, recurre al modelo inapropiado de carga puntual. Este resultado estaría mostrando que el empleo de TIC como situación habría influido escasamente en la construcción de significados por parte de algunos estudiantes, lo que se mostró por un conocimiento parcialmente logrado.
- Como posibles TA, empleados por, al menos, la mitad de los estudiantes en la primera etapa:

“*el campo cambia la trayectoria*” (obviando la fuerza) (F9, P2 y P10);

“*la fuerza modifica la trayectoria*” (sin explicitar el campo) (F4, F2, P7);

“*ley de cargas*” (F2, F4, F9);

“*a mayor velocidad mayor alcance*” (proporcionalidad directa, sin considerar superposición de movimientos) (F2, F4, F9);

“*alcance proporcional al cuadrado de la velocidad*” (P2, P7, P10);

“*a mayor carga menor alcance*” (proporcionalidad inversa) Todos los alumnos.

- Se reconocen como posibles TA (Teoremas en acto): “*el campo cambia la trayectoria*” (F9, P2 y P10), y “*Si la trayectoria no es recta, hay campo*” (F9 y P10). Estos mostrarían una incorporación a las explicaciones, de significados y relaciones propias del campo conceptual del concepto bajo estudio, es decir del Electromagnetismo, dejando de lado los conceptos y relaciones propios del campo conceptual de la mecánica. Este es un aspecto a destacar que mostraría la mayor conceptualización del movimiento de cargas en campos eléctricos por parte de los estudiantes (F9 y P10), al mostrar explicaciones y argumentos más cercanos a los científicamente aceptables del campo conceptual bajo estudio, lo que podría evidenciar la influencia positiva en la formación de conceptos tanto de la situación mediada por TIC como de la situación siguiente.
- En la segunda etapa de la investigación, correspondiente a la indagación sobre el movimiento de cargas en campos magnéticos, los alumnos mostraron una mayor disponibilidad de conceptos. Esto se manifestó en el uso de representaciones variadas de los significados: verbales, pictóricas y algebraico-simbólicas. En particular, la progresiva interpretación de representaciones pictóricas de tipo imagen (como las brindadas por los simuladores) es una habilidad que debe enseñarse para que los estudiantes las apliquen de

manera eficaz en la ampliación de sus modelos conceptuales, como señalan Lombardi, Caballero, Moreira (2003). De lo anterior se desprende que el mejor rendimiento de los estudiantes en cuanto a la interpretación de los simuladores (en esta segunda etapa) puede deberse a la adquisición de destrezas relativas al uso (lectura) de representaciones de tipo pictóricas, destrezas adquiridas en una etapa anterior del curso.

- En la etapa diagnóstica correspondiente al movimiento de cargas en campos magnéticos, segunda fase de la investigación (Anexo 5), los posibles IOF (Invariantes operatorios físicos) mostrados por los alumnos en las representaciones escritas son la relación entre la fuerza magnética, la trayectoria y el campo magnético, que en general, la mayoría de los estudiantes pudo interpretar y verbalizar, y en algunos casos, representar pictóricamente. Los posibles TA (Teoremas en acto) evidenciados en las respuestas de los alumnos correspondientes al movimiento de una carga en una dirección perpendicular al campo magnético, son: *El campo magnético modifica el movimiento; el campo magnético ejerce fuerza sobre cargas en movimiento; la fuerza modifica la trayectoria; el sentido de recorrido de la trayectoria dependerá del signo de la carga; la trayectoria de la carga será circular; la fuerza magnética actúa como fuerza centrípeta*. Estas afirmaciones de los estudiantes estarían indicando el reconocimiento significados: carga, campo magnético, trayectoria, fuerza sobre cargas en movimiento, y relaciones (fuerza-velocidad-campo, fuerza perpendicular al campo, regla de producto vectorial). Mientras que algunos alumnos mostraron la disponibilidad de IOM (Invariantes operatorios matemáticos) necesarios para transformar las relaciones anteriores en expresiones algebraicas simbólicas adecuadas, otros presentaron argumentos contradictorios.

- El uso del simulador como recurso en la situación presentada como Laboratorio virtual en esta segunda fase (Anexo 6), permitió a los estudiantes expresar mediante representaciones verbales lingüísticas, diferentes relaciones entre los significados de fuerza, carga, velocidad, campo, trayectoria. Las relaciones fueron respaldadas en algunos casos por representaciones pictóricas del tipo figura, y en otros por representaciones algebraicas en la forma de expresiones de relaciones funcionales. Antes de la tarea mediada por TIC los alumnos mostraron disponer de algunos invariantes operatorios propios del campo conceptual, los cuales se repitieron en las explicaciones del Laboratorio virtual.
- Todos los estudiantes mostraron disponer de representaciones de las relaciones entre fuerza magnética y trayectoria, que les permitieron caracterizar la trayectoria de iones en campos magnéticos uniformes mediante afirmaciones dadas en lenguaje verbal. También mostraron caracterizaciones adecuadas de la fuerza magnética que actúa sobre cargas en movimiento, vinculando esta fuerza con las centrípetas estudiadas en el campo conceptual de la mecánica.
- También los alumnos evidenciaron poseer representaciones de relaciones entre fuerza magnética y signo de la carga, al reconocer que la trayectoria cambiará su sentido al cambiar el signo de la carga, mostrando en sus explicaciones el adecuado uso de los conceptos de sentido de giro horario/anti horario, fuerza, radio.
- Los estudiantes pudieron explicitar los efectos que producirían sobre la trayectoria de la partícula los cambios de distintos factores (masa, carga, campo, velocidad). Las respuestas fueron dadas fundamentalmente en lenguaje verbal, aludiendo a la “**proporcionalidad / proporcionalidad inversa**” como justificación. En ningún caso expusieron como garantías relaciones simbólicas algebraicas que permitieran cuantificar las relaciones verbales.

- Al considerar la **trayectoria de la carga en movimiento en presencia de campos eléctricos y magnéticos** uniformes y perpendiculares entre sí, las respuestas de los alumnos del grupo F no dan cuenta de haberse apropiado del significado de movimiento de cargas en campos, ni de la potencialidad del uso del simulador, lo cual se desprende de las respuestas dadas: los estudiantes del grupo F en general no consideraron la perturbación provocada por el campo eléctrico, con lo que evidenciaron no disponer (o disponer de manera muy débil) de representaciones para poder comunicar su interpretación del comportamiento de la carga sometida a los dos campos, eléctrico y magnético. Las respuestas verbales (“*las trayectorias serán opuestas entre sí*”) darían cuenta de la comprensión de la característica de la interacción electromagnética dependiendo del signo de la carga, pero no indican una comprensión de la forma en que cada campo interactúa con la partícula cargada. En las respuestas de los alumnos del grupo P, los estudiantes mostraron reconocer la presencia de ambos campos, la interacción de cada uno con la carga, y, en algunos casos, mediante representaciones adecuadas, las características de estas interacciones, mediante respuestas que aludían a la superposición de fuerzas con características diferentes.
- Los posibles IOF (Invariantes operatorios físicos) dominantes en las explicaciones de los estudiantes en los informes de laboratorio fueron significados y relaciones correspondientes al campo conceptual de la mecánica y del electromagnetismo. Entre los primeros están los significados de trayectoria, movimiento, fuerza y velocidad, y las relaciones entre fuerza y cambio en el movimiento. Entre los significados del campo conceptual del electromagnetismo se reconocen: campo magnético y fuerza magnética, y las relaciones inherentes al campo conceptual del electromagnetismo (entre fuerza-carga-campo magnético; entre fuerza magnética y signo de la carga; entre fuerza magnética y velocidad; entre radio,

velocidad, campo magnético, carga y masa). Todos los estudiantes recurren a representaciones pictóricas de trayectoria (mediante pantallas).

- Los posibles IOM (Invariantes operatorios matemáticos) que se deducen de los informes de los estudiantes correspondientes al laboratorio virtual de magnetismo, están los significados de Circunferencia y trayectoria circular, y en un alumno de Fuerza como campo vectorial. Todos los alumnos reconocen operaciones y propiedades relativas al producto escalar-vector, en tanto que sólo un estudiante explicita el producto vectorial y la regla práctica de la mano derecha para producto vectorial.
- Como posibles TA (Teoremas en acto) de esta fase, en la tarea de laboratorio virtual, están los correspondientes a **caracterización de la fuerza magnética** (*el campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento; la fuerza magnética es perpendicular a la velocidad*); **de caracterización de la trayectoria** (*La carga en el campo magnético realiza un movimiento circular; El signo de la carga determina el sentido de giro; El radio de la trayectoria es proporcional a la velocidad y a la masa, e inversamente proporcional al valor del campo; Regla de la mano derecha determina el sentido de giro*).
- En la última situación correspondiente al estudio de movimiento de cargas en campos magnéticos (Anexo 7), los estudiantes reconocieron desde la gráfica de trayectoria de una partícula cargada, la presencia de campos magnéticos y pudieron representar gráficamente las líneas de campo. Sin embargo, sólo la mitad de los alumnos pudo ordenar correctamente las magnitudes de los campos, a partir de la observación de la trayectoria y esta misma proporción de estudiantes presentó argumentos válidos sobre la manera de lograr que una carga no ingrese en una región determinada. En tareas relacionadas a características de la

fuerza magnética, todos los estudiantes identificaron la relación entre fuerza y signo de la carga, y esta característica la describieron empleando lenguaje verbal y/o algebraico, y representando gráficamente de manera incompleta la trayectoria para una nueva situación. Al representar la fuerza sobre la carga en movimiento, la mitad de los alumnos lo hizo de manera adecuada mostrando reconocer la relación entre fuerza, velocidad y trayectoria. Sólo dos alumnos reconocieron la característica del campo magnético de no modificar la rapidez de la carga.

- Los posibles IOF mediante significados y relaciones que dieron los alumnos fueron los mismos que mostraron en los informes del laboratorio virtual: significados de trayectoria, movimiento circular, fuerza, radio, velocidad y campo magnético. Todos los alumnos expresaron verbalmente relaciones entre fuerza y signo de la carga, mientras que la mitad expresó verbalmente relaciones vinculando el campo magnético y el cambio en el movimiento/trayectoria; así como relaciones entre el radio de la trayectoria, la velocidad, la masa y la carga. En tanto a los posibles IOM manifestados mediante representaciones algebraicas simbólicas para dar cuenta de las relaciones entre fuerza, velocidad y campo magnético, la mitad de los estudiantes las empleó; también algunos alumnos relacionaron el producto de un escalar por un vector con el sentido de la fuerza magnética.
- Los posibles TA en esta última fase fueron los que correspondieron en la tarea de laboratorio virtual a la “**caracterización de la fuerza magnética**” (*el campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento; la fuerza magnética es perpendicular a la velocidad; el campo magnético produce un cambio en el movimiento*); “**de caracterización de la trayectoria**” (*La carga en el campo magnético realiza un movimiento circular; El signo de*

la carga determina el sentido de giro; El radio de la trayectoria es proporcional a la velocidad y a la masa, e inversamente proporcional al valor del campo; Regla de la mano derecha determina el sentido de giro).

- En las tareas correspondientes al estudio del movimiento de cargas en campos magnéticos los estudiantes mostraron una mayor disponibilidad de significados y relaciones del campo conceptual, las cuales expresaron mediante representaciones tanto verbales como icónicas y simbólicas. El uso de TIC pareciera favorecer el empleo de las representaciones gráficas como parte de la argumentación, y, a diferencia de lo ocurrido con el movimiento en campos eléctricos, también se observó un mayor despliegue de explicaciones verbales y simbólico algebraica por parte de los estudiantes.

4.2. Consideraciones finales

En los informes de algunos alumnos predominaron explicaciones de tipo intuitivo, correspondientes al TA (Teorema en acto) *proporcionalidad*, expresadas en reglas de inferencia del tipo “*si X aumenta... entonces Y, que depende de X, también aumenta*” empleado de manera profusa en sus argumentaciones a lo largo de todas las etapas de la investigación. Estos estudiantes consideran que si una variable se reduce a la mitad, otras -que dependen de ésta- también cambian en la misma proporción, sin atender a otras posibles relaciones no lineales. La prevalencia de este TA no pudo modificarse con las diferentes situaciones presentadas; en particular no se notó influencia del empleo de TIC en la reacomodación de estas estructuras de razonamiento. Así, las respuestas erróneas dadas por los alumnos en los casos en que empleaban incorrectamente esta regla no se debían a descuidos o a cálculos incorrectos, sino a la presencia de estas ideas previas que eran

defendidas por un gran número de estudiantes, en diferentes niveles educativos, tal como señala Carrascosa Alís (2005).

El empleo de los “laboratorios virtuales” mediante el uso de TIC (a modo de situación en la enseñanza) significaba para los alumnos realizar tareas de interpretación de consignas en lenguajes a los que, al comienzo del curso, no parecían estar habituados (no obstante prácticas semejantes en otras materias). No todos los alumnos (del grupo informado y de los cursos en general) trabajaron en los laboratorios con el mismo nivel de compromiso, lo cual se evidenció en el tipo de informes presentados.

El uso de TIC como situación en la enseñanza del concepto de movimiento de cargas en campos electromagnéticos uniformes pareciera influir en la acción de fomentar la anticipación y validación de relaciones entre los significados físicos y matemáticos, propiciando el uso de diferentes representaciones necesarias para la conceptualización. Este aspecto es mencionado por García Barneto y Gil Martín (2006), quienes al resumir las características de los applets en la enseñanza de la Física, destacan, por ejemplo, su potencialidad para promover la formulación de hipótesis y su contrastación en un entorno constructivista de aprendizaje. Así, algunos alumnos lograron una progresiva construcción de los conceptos a lo largo de toda la indagación, la cual se mostró en la cantidad y pertinencia de relaciones y representaciones de los significados involucrados. Esta fue una construcción lograda con mayor éxito por algunos estudiantes, quienes mostraron un dominio más completo de las diferentes representaciones necesarias para caracterizar los significados y sus relaciones (emplearon representaciones verbales, algebraicas y pictóricas coherentes entre sí y cercanas a las científicas del campo conceptual bajo estudio).

Los informes presentados por los alumnos luego del uso de TIC mostraron posibles TA (Teoremas en acto), tales como “*ley de cargas*”, la “*proporcionalidad*”, “*el campo modifica la trayectoria de la carga*”, los cuales fueron empleados en tareas siguientes por la mayoría de los estudiantes del grupo bajo estudio, sin evidenciar alguna reestructuración o la aparición de nuevos esquemas. Otro posible TA, “*las cargas giran en un campo magnético uniforme*”, fue incorporado en las situaciones finales luego del estudio de magnetismo, y, a partir de ese momento, utilizados en las siguientes explicaciones de los estudiantes. Los estudiantes en general calificaron positivamente la experiencia de los laboratorios virtuales, sin embargo, es evidente que para que pueda obtenerse un mayor beneficio de estas tecnologías en cuanto al aprendizaje de conceptos físicos, los alumnos deben tener una importante orientación para aprovechar todas las herramientas que estas brindan, dado que en general no poseen estrategias de trabajo autónomo con las mismas. Esta es una observación formulada por diferentes investigadores (Kofman, 2003; Marchisio et al, 2004;Giuliano et al., 2008; Reigosa, 2010) quienes insisten en que las herramientas aportadas por las tecnologías no son suficientes para garantizar que mediante su uso se promueva en los estudiantes determinado aprendizaje conceptual: es importante el acompañamiento en la tarea mediada por simuladores por parte del docente que permitan potenciar el uso de esta herramienta; este acompañamiento puede ser presencial o no, pero sí debe constar de adecuados instructivos enmarcados en concepciones pedagógicas claras que permitan, efectivamente, la realización de la tarea didáctica propuesta. Algunos estudiantes del grupo bajo estudio (F2, F9 y P10) mostraron una progresiva apropiación de los significados relativos al movimiento de cargas en campos; esto se evidenció en el uso paulatino y cada vez más adecuado, de representaciones verbales y simbólicas algebraicas; el alumno F2, por

ejemplo, en sus tareas iniciales mostró escasamente el uso de representaciones verbales y simbólicas algebraicas, sin embargo al avanzar en las situaciones estas representaciones fueron cada vez más cercanas a las científicas propias del campo conceptual del electromagnetismo. El alumno P10 mostró desde el comienzo de las actividades gran disponibilidad de significados y relaciones, no sólo del campo conceptual de la Física sino también de la Matemática.

Así, y desde la perspectiva de la Teoría de los Campos conceptuales de G. Vergnaud, los estudiantes mostraron diferentes apropiaciones del concepto bajo estudio, ante las situaciones planteadas en forma de tareas, evidenciando un proceso de adaptación de los invariantes operatorios (significados y relaciones) y representaciones propios del campo conceptual de la Mecánica, ante las situaciones presentadas.

Los resultados obtenidos evidenciarían que los estudiantes de este pequeño grupo han logrado en general una significación adecuada al nivel del curso de los conceptos en juego, mostrada en el uso de representaciones simbólicas, pictóricas y verbales del campo conceptual de la Física y de la Matemática. Sin embargo, estas representaciones evidenciadas por los estudiantes son sólo un emergente de las representaciones que el alumno ha construido sobre el concepto, y que no siempre son expresadas (ya sea por falta de recursos para hacerlo, como por ejemplo uso del lenguaje verbal o algebraico), por lo que de ellas sólo podemos declarar cuáles son los posibles IO (invariantes operatorios, tanto conceptos en acto como teoremas en acto) que los alumnos emplearon al enfrentarse a situaciones diversas. Entre los conceptos en acto del campo conceptual de la Física, los alumnos recurren a fuerza, velocidad, campo, trayectoria, carga y relaciones entre ellos, las cuales expresan en forma

verbal especialmente, y sobre las situaciones finales con mayor presencia de representaciones simbólico-algebraicas. Como posibles teoremas en acto (TA) se encuentran la denominada “ley de cargas”, la “proporcionalidad”, “el campo modifica la trayectoria de la carga”, “las cargas giran en un campo magnético uniforme”.

De lo expuesto se justificaría que, el identificar si están presente y cuáles son las representaciones y significados que los alumnos han construido sobre un concepto en particular, requiere, desde la Teoría de Vergnaud, la presencia de múltiples situaciones que pongan de manifiesto distintos aspectos del concepto a estudiar. Y entre estas situaciones, los “laboratorios virtuales” se constituyen en una herramienta poderosa para el diseño de actividades que permitan el aprendizaje de la Física.

¿Cuáles son las implicancias del conocimiento construido desde esta investigación, respecto a la formación de conceptos de movimientos de cargas en campos eléctricos y magnéticos uniformes?

Reflexión final

Al hacer investigación en enseñanza de las ciencias se busca, entre otros aspectos, conocer sobre el modo en que los alumnos aprenden los conocimientos científicos, y en particular, la manera en que estos conocimientos son construidos por los estudiantes. Así, a partir de la experiencia descrita en esta investigación, sumamente acotada en cuanto a la población bajo estudio y a los instrumentos empleados, pudimos acercarnos a la forma en que los alumnos de este pequeño grupo particular, aprenden un tema específico de electromagnetismo, buscando y caracterizando los posibles invariantes operatorios y representaciones construidas

por los mismos. Se pudieron identificar posibles Teoremas y conceptos en acto, y el conocimiento de los mismos (más allá de lo acotado del grupo bajo estudio) permitiría, en futuras instancias de enseñanza del tema en cuestión en este Nivel de educación, seleccionar situaciones que favorezcan el poner en evidencia diversas representaciones de los significados que ayuden a la construcción del concepto científico. En particular, el recurso de las TIC se mostró como valioso al momento de propiciar la emisión de explicaciones por parte de los estudiantes en tareas de aprendizaje de tipo colaborativo, mientras que el empleo de diferentes lenguajes para verbalizar explicaciones es una actividad en la que los estudiantes deberán ser acompañados para que los incorporen de manera fluida y natural.

BIBLIOGRAFÍA

Alfonso, C. (2004). Prácticas de laboratorio de Física general en internet. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 3, N° 2, 202-210 (2004). Disponible en:

<http://es.scribd.com/doc/67229229/ART6-Vol3-N2> (Encontrado: junio 2010)

Almudí, M.; Zuza, K. & Bonet, E. (2006). Explicando los fenómenos de inducción electromagnética: relevancia de su enseñanza y dificultades de aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 2006, número extra. VII Congreso de Enseñanza de las Ciencias (España).

Alzugaray de la Iglesia, G. (2009). Variables que afectan la comprensión del concepto de campo eléctrico. *VIII Congreso Internacional sobre investigación en la Didáctica de las Ciencias* (ISSN 0212-4521). Disponible en:

<http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-1942-1945.pdf> (Encontrado: agosto 2011)

Bohigas, X. & Periago, M. (2010). Modelos mentales alternativos de los alumnos de segundo curso de Ingeniería sobre la Ley de Coulomb y el Campo Eléctrico. *REDIE [online]*. 2010, vol.12, n.1 [citado 2011-08-26], pp. 1-15 Disponible en:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-40412010000100003&lng=es&nrm=iso

Caballero Sahelices, C. (2005). La investigación en enseñanza desde la perspectiva de los campos conceptuales de Gérard Vergnaud. Resultados de investigaciones en Física. *Revista Educación y Pedagogía*, Medellín, Universidad de Antioquia, Facultad de Educación, vol. XVII, núm. 43, (septiembre-diciembre), 2005, pp. 43-60.

Carrascosa Alís, (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte i). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias [en línea] 2005, 2 [fecha de consulta: 25 de enero de 2012]*

Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=92020206>

Carrascosa Alís, (2005) El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte II). El cambio de concepciones alternativas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias [en línea] 2005, 2 [fecha de consulta: 25 de enero de 2012]* Disponible en:

<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=92020307> (Encontrado: agosto 2011)

Catalán, L.; Serrano, G. & Concari, S. (2010). Construcción de significados en alumnos de nivel básico universitario sobre la enseñanza de la Física con empleo de software. *RMIE, Julio-Setiembre 2010, Vol. 15, Núm. 46, PP. 873-893*

Catalán, L; Caballero Sahelices, C. & Moreira, M. (2010) Niveles de conceptualización en el campo conceptual de la Inducción electromagnética. Un estudio de caso. *Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 4, No. 1, Jan. 2010, PP. 126-142.*

Clavijo, S.; Catalán L. & Marquez, M. (2008). Las prácticas de laboratorio en el aprendizaje de un campo conceptual. *Memorias Noveno Simposio de Investigación en Educación en Física – SIEF 9. Rosario, Argentina.*

Covalada, R.; Moreira, M. & Caballero, M. (2005). Los significados de los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica. Estudio exploratorio con estudiantes

universitarios. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 4 N° 1* (Encontrado: agosto de 2011)

De Cudmani, L.; Pesa, M & Salinas, J. (2000). Hacia un modelo integrador para el aprendizaje de las ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 2000, 18 (1), 3-13*. Disponible en: <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v18n1p3.pdf>. (Encontrado: junio 2010)

Escudero, C.; González, S. & Jaime, E. (2005). El análisis de conceptos básicos de Física en la resolución de problemas como fuente generadora de nuevas perspectivas: un estudio de dinámica del movimiento circular. Disponible en: <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/revistaey/article/viewFile/6054/5460> (Encontrado: junio 2010)

Escudero, C.; Moreira, M. & Caballero, M. (2003). Teoremas-en-acción y conceptos-en-acción en clases de Física introductoria en secundaria. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Vol. 2, N° 3, 201-226 (2003)*. Disponible en: <http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen2/numero3/art1.pdf>. (Encontrado: junio 2010)

Esquembre, F., Martín, E., Wolfgang, C. & Belloni, M. (2004). FISLETS: Enseñanza de la Física con material interactivo. Disponible en: <http://fem.um.es/Fislets/> (Encontrado: junio 2010)

Ferreira, A. & González, E. (2000). Reflexiones sobre la enseñanza de la Física universitaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 2000, 18 (2), 189-199. Disponible en: <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v18n2p189.pdf> (Encontrado: junio 2010)

García Barneto & Gil Martín (2006). Entornos constructivistas de aprendizaje basados en simulaciones informáticas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 5 N°2*

Giacosa, N.; Giorgi, S. & Concari, S. (2008). El uso de simulaciones como recurso didáctico para una mejor comprensión del funcionamiento de espectrómetros de masas: una experiencia con estudiantes de ingeniería. *Memorias Noveno Simposio de Investigación en Educación en Física – SIEF 9 Rosario, Argentina.*

Giuliano, M.; Sacerdoti, A.; Santórsola, M.; Nemirovsky, I.; Pérez, S.; Álvarez, M.; Cruz, R. & Díaz, F. (2008). Una experiencia didáctica con la utilización de applets. *Memorias Noveno Simposio de Investigación en Educación en Física – SIEF 9 Rosario, Argentina.*

Kofman, H. (2000). Modelos y simulaciones computacionales en la enseñanza de la Física. Disponible en: <http://www.fiqus.unl.edu.ar/galileo/download/documentos/modelos.pdf> (Encontrado: junio 2010)

Kofman, H.; Tozzi, E. & Lucero, P. (2000). La Unidad Experimento – Simulación en la Enseñanza Informatizada de la Física. *Revista de Enseñanza y Tecnología – Mayo - Agosto 2000.* Disponible en: <http://161.67.140.29/iecom/index.php/IECom/article/view/132/125>. (Encontrado: junio 2010)

Llancaqueo, A.; Caballero, M. & Moreira, M. (2003). El aprendizaje del concepto de campo en Física: una investigación exploratoria a la luz de la teoría de Vergnaud. *Revista Brasileira*

de Ensino de Física, Vol. 25, no.4. Disponible en:
<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v25n4/a11v25n4.pdf> (Encontrado: junio 2010)

Llancaqueo, A.; Caballero, M. & Moreira, M. (2003). El concepto de campo en el aprendizaje de la Física y en la investigación en educación en ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 2, N° 3, 227-253 (2003). (Encontrado: junio 2010)

Lombardi Licciardi, G.; Caballero Saheliz, C. & Moreira, M. (2009). Las representaciones pictóricas como recursos semióticos. Caso equilibrio químico. Disponible en:
<http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-1596-1601.pdf> (Encontrado: setiembre 2011)

Martín & Solbes (2001). Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de campo en Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 2001, 19 (3), 393-403. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21761/21595> (Encontrado: agosto 2011)

Martinez-Jimenez, LeonAlvarez, PontesPedrajas (1994). Simulación mediante ordenador de movimientos bidimensionales en medios resistentes. *Enseñanza de las Ciencias*, 1994, 12 (1), 30-38

Martinho& Pombo (2009). Potencialidades das TIC no ensino das Ciências Naturais – um estudo de caso. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol.8 N°2 (2009)

Moreira, M. (2002). 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), 2002. Disponible en: <http://www.if.ufrgs.br/ienci> (Encontrado: setiembre 2010)

Otero, Greca y Lang (2003). Imágenes visuales en el aula y rendimiento escolar en Física: un estudio comparativo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 2, N° 1, 1-30 (2003). Disponible en: <http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen2/Numero1/Art1>. (Encontrado: junio 2010)

Periago Oliver, M. & Bohigas Janoher, X. (2005). Persistencia de las ideas previas sobre potencial eléctrico, intensidad de corriente y ley de Ohm en los estudiantes de segundo curso de Ingeniería. *REDIE. Revista Electrónica de Investigación Educativa*, vol. 7, núm. 2, 2005, p. 0. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15507207> (Encontrado: junio 2010)

Reigosa, C. (2010). Un estudio de caso sobre la influencia del uso de una herramienta informática sobre las destrezas de comunicación científico-técnicas y el aprendizaje conceptual. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol. 9, N° 1, 186-198 (2010)

Salinas de Sandoval, J.; Cudmani, L. & Pesa, M. (1996). Modos espontáneos de razonar. Un análisis de su incidencia sobre el aprendizaje del conocimiento físico a nivel universitario básico. *Enseñanza de las Ciencias*, 1996, 14 (2), 209-220. Disponible en: <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v14n2p209.pdf> (Encontrado: junio 2010)

Sandoval, M. y Mora, C. (2009). Modelos erróneos sobre la comprensión del campo eléctrico en estudiantes universitarios. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 3, No. 3, Sept. 2009. Disponible en: http://journal.lapen.org.mx/sep09/25_LAJPE_285_Manuel_Sandoval.pdf (Encontrado: agosto 2011)

Santos Benito y Gras-Martí (2003). Conocimientos de Física de alumnos universitarios. Influencia de las reformas educativas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 2, N° 2, 126-135 (2003). Disponible en: <http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen2/Numero2/Art3.pdf> (Encontrado: noviembre 2011)

Stipcich, S.; Moreira, M. & Caballero, C. (2007) La construcción de nociones sobre temas complejos, en estudiantes de educación media: un análisis mediante la Teoría de los campos conceptuales. Disponible en: <http://redie.uabc.mx/vol9no1/contents-stipcich.html> (Encontrado: febrero 2011)

Vergnaud, G. (1990). La Teoría de los Campos conceptuales. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 10, n° 2, 3, pp. 133-170, 1990. Disponible en: http://ipes.anep.edu.uy/documentos/curso_dir_07/modulo2/materiales/didactica/campos.pdf (Encontrado: junio 2010)

Zamarro, J.; Núñez, M. & Molina G. Aprender construyendo simulaciones. Disponible en: http://webs.um.es/jmz/jmz/aprender_simula.pdf (Encontrado: julio 2011)

ANEXOS

Anexo 1: Diagnóstico general

Profesorado:

Nombre: _____ nº de legajo: Año de inicio de la carrera:.....

EC	Aprobado año	EC	Aprobado año
Cálculo II		Física I	
Álgebra II		Cálculo Numérico	
Cálculo III			

Ingenierías: en Alimentos/ Química

Nombre: _____ nº de legajo: Año de inicio de la carrera:.....

EC	Aprobado año	EC	Aprobado año
Matemática I		Física I	
Matemática II		Sistemas de representación	

Resuelva las siguientes cuestiones

- a) De las siguientes magnitudes físicas: **Fuerza, masa, velocidad, energía, aceleración, posición, distancia**

Completa la tabla clasificando a las que consideres magnitudes escalares y a las que consideres magnitudes vectoriales. En cada caso escribe una breve explicación del por qué lo son.

Magnitud escalar	Explicación	Magnitud vectorial	Explicación

- b) Resuelva las siguientes integrales:

a) $\int_1^{\infty} \frac{1}{r^2} dr =$ b) $\iint 3xy^2 dx dy = \int \int \int z$

c) Resuelva las siguientes ecuaciones:

a) $\frac{1}{p} + \frac{1}{x} = \frac{1}{f}$ (p, f ctes; x incógnita) b) $0,003 \operatorname{sen}(3x) = 0,0002$

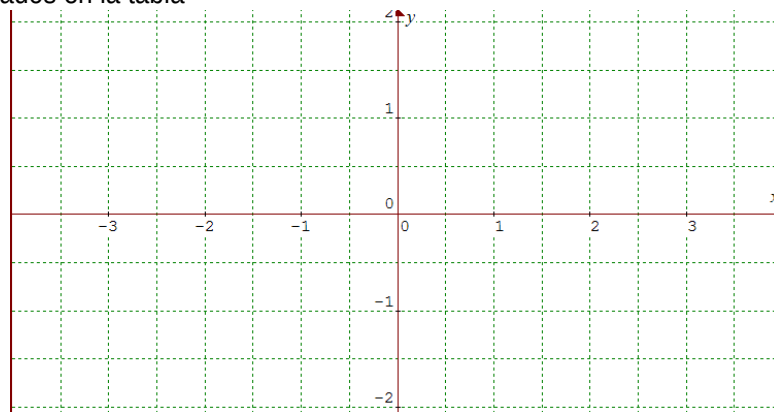
d) (Ejercicio adaptado de Llancaqueo et al (2003) "El aprendizaje del concepto de campo en Física una investigación exploratoria a la luz de la Teoría de Vergnaud")

Considere la fuerza (campo vectorial) definida por la fórmula $\vec{F} = (y\vec{i} + x\vec{j})N$

1) Complete la tabla con los valores de la función en los puntos indicados

x(m)	y(m)	$\vec{F}(N)$
0	0	
0	1	
0	2	
0	-1	
0	-2	
1	0	
2	0	
-1	0	
-2	0	
1	1	
2	2	
-1	-2	
-1	-1	

Dibuje en el plano cartesiano la representación de la gráfica de este campo vectorial, para los puntos indicados en la tabla

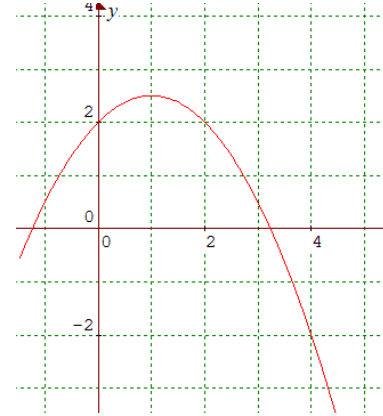


2) Considere que una hormiga se mueve en el plano xy, desde el punto A(0,0) hasta el punto B (2,2). Calcule el trabajo que hace esta fuerza por dos caminos distintos, y use este resultado para explicar si \vec{F} es o no un campo conservativo.

e) Un cuerpo puntual A se mueve de modo que su posición, en función del tiempo viene representada en la siguiente gráfica. Considera todas las unidades en SIMELA

1) Escriba al menos 5 afirmaciones de conocimiento relativas al movimiento de A, por ejemplo: " La descripción del movimiento no comienza en t=0"

- 1)
- 2)
- 3) ...
- 4) ...
- 5) ...
- ...



2) Si desea saber en qué instante el cuerpo A pasó por el origen, ¿qué plantearía y por qué?

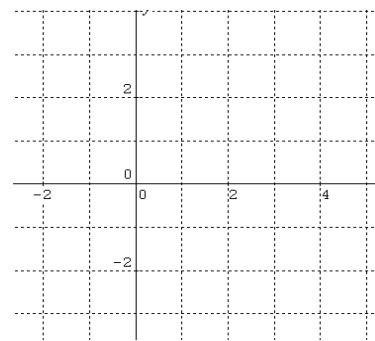
3) ¿Cuál de las siguientes puede ser la descripción algebraica adecuada para el movimiento de A?

- Opción 1: $Y(t)=2+2t$
- Opción 2: $y(t)=2+t-t^2$
- Opción 3: $y(t)=2-t+0,5 t^2$
- Opción 4: $y(t)=2+t-0,5t^2$

Explicación de la selección (tanto de la que consideras correcta como las que no lo son):

- Opción 1:
- Opción 2:
- Opción 3:
- Opción 4:

4) Esboce la trayectoria de este cuerpo en el siguiente plano cartesiano. Explique su elección de tal representación.



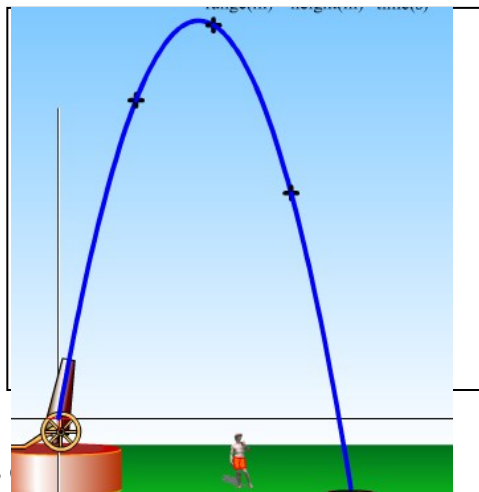
f) Un proyectil se lanza desde el piso (origen de coordenadas) con un ángulo de lanzamiento de 30° (respecto de la horizontal). La celeridad inicial es de 100 m/s. No se considera la resistencia del aire. Considerando el sistema de coordenadas de la figura, *Complete la trayectoria y luego...*

- 1) El proyectil realiza un movimiento rectilíneo uniforme respecto del eje
- 2) El movimiento en tiene aceleración igual a
- 3) Para calcular la posición horizontal debe emplearse la fórmula $x(t)=...$
- 4) Para calcular la máxima altura, h, lograda por el proyectil puede emplearse $v_f^2= v_0^2 - 2 g h$, donde v_0 vale

Anexo 2: Primera fase- Primera etapa - diagnóstico (movimiento de cargas en campos gravitatorios)

Completa el siguiente cuestionario de revisión del movimiento de proyectiles:

- 1) La siguiente pantalla ilustra el movimiento de un proyectil, lanzado por un cañón desde la superficie de la Tierra en ausencia de resistencia del aire: ¿qué representa?



.....
.....

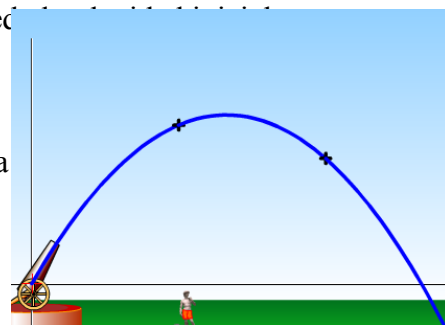
Para completar tu respuesta anterior, dá nombre a los ejes coordenados y sus respectivas unidades en SIMELA (en el gráfico de la derecha)

- 2) Ordena de mayor a menor importancia los factores de los trayectoria del proyectil:

Masa-ángulo de lanzamiento-aceleración de la gravedad

.....

- 3) Dibuja en las posiciones marcadas con “cruces”, la fuerza



- 4) ¿Para qué ángulo de lanzamiento el alcance es máximo?
..... Por qué?.....

¿Para qué ángulo de lanzamiento el alcance es mínimo?..... Por qué?.....

- 5) Sobre la gráfica dada al comienzo, esboza la gráfica correspondiente al movimiento si la velocidad de lanzamiento se reduce a la mitad, y el ángulo es el mismo.

- 6) ¿Por qué la parábola tiene las ramas “hacia abajo”?

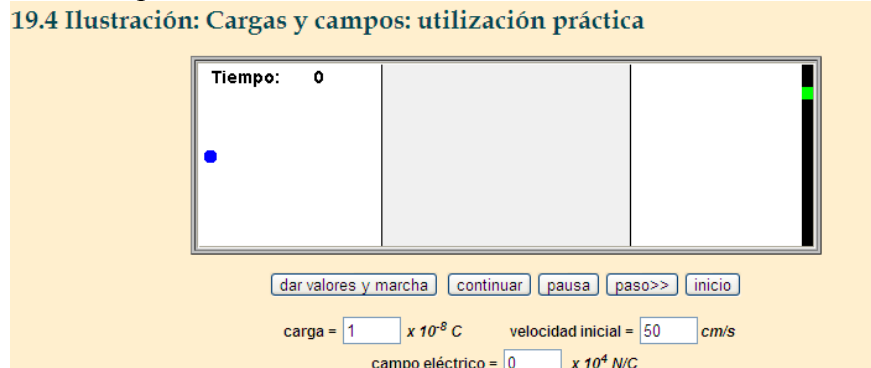
- 7) ¿Podría lograrse para un lanzamiento de proyectil que las ramas estén “hacia arriba”? Fundamenta tu respuesta.

Anexo 3: Primera fase- Segunda etapa - Laboratorio virtual de movimiento de cargas en campo eléctrico

El simulador está disponible en el sitio

<http://www.um.es/fem/Fislets/CD/II4Electromagnetismo/II19CampoElectrico/default.html>

Ilustración 19.4. En la pantalla verás:



Comentarios generales sobre el simulador:

-El simulador permite modificar valores de carga, velocidad inicial y campo, con los siguientes rangos:

Carga: valores entre 0 y 10

Velocidad inicial: valores entre 0 y 100

Campo eléctrico: valores entre -20 y 20

-Las posiciones están dadas en cm y los tiempos en segundos.

Actividades:

Recuerda que cada una de las respuestas tiene que estar fundamentada, y para dar “peso” a tu respuesta puedes recurrir a: lenguaje verbal, símbolos, fórmulas, dibujos, etc.

🗨️ Actividad 1)

C1) Si una carga eléctrica (supongamos positiva) se lanza en dirección horizontal en ausencia de campo eléctrico, ¿qué trayectoria esperarías observar? ¿Por qué?

¿Qué tipo de movimiento realizará la carga? ¿Por qué?.....

A1) Inicia la simulación con “dar valores y marcha” sin modificar los parámetros que presenta el simulador. Así, se considera que estás trabajando con campo eléctrico = La trayectoria, ¿es la que habías previsto?..... Si no es así, ¿cuál crees que es la causa de la diferencia?

🗨️ Actividad 2)

C2) Si la carga tiene valor “0” y el campo 10^4 N/C, ¿qué esperarías observar en la pantalla? ¿Por qué?

A2) Realiza la simulación y decide si se valida o refuta tu conjetura anterior. En el último caso, ¿por qué crees que esto ha pasado?

● Actividad 3)

Propone una actividad con el simulador para decidir qué signo tiene la carga que se mueve en el campo.

Ejecuta la actividad propuesta y justifica de qué modo lo que muestra el simulador da respuesta a tu pregunta.

● Actividad 4)

C3) Si la carga se duplica, manteniendo los valores de velocidad y campo, ¿cómo afectará la trayectoria? ¿Por qué?

A3) Trabaja con el simulador para verificar o refutar tu conjetura. Fundamenta.

● Actividad 5)

C4) Si se modifica la velocidad inicial, ¿de qué modo afectaría el movimiento de una carga?

A4) Trabaja con el simulador para verificar o refutar tu conjetura. Recuerda fundamentar por qué el simulador muestra que se cumple o no tu conjetura.

● Actividad 6)

C5) Si el campo eléctrico se duplica, ¿qué pasará con la trayectoria? ¿por qué?

A5) Trabaja con el simulador para verificar o refutar tu conjetura. Fundamenta la respuesta.

C6) Si el campo eléctrico se invierte, ¿qué pasará con la trayectoria? ¿por qué?

A6) Trabaja con el simulador para verificar o refutar tu conjetura. Recuerda fundamentar por qué el simulador muestra que se cumple o no tu conjetura.

● Actividad 7)

I) Emite conjeturas sobre las diferentes trayectorias según los valores de los parámetros q , v y E que puedas chequear con el simulador. Escribe tus respuestas previas y las que te brinda el simulador. Por ejemplo, puedes construir una tabla como la siguiente:

Conjetura 1:	Respuesta 1:
Conjetura 2:	Respuesta 2:
Conjetura 3:	Respuesta 3:

II) Argumenta, con el uso del simulador y tus conocimientos teóricos, las respuestas a las siguientes afirmaciones:

- a) Cuando una carga ingresa en una región libre de campo eléctrico, se mueve sin desviarse.
- b) Cuando mayor es la velocidad de la carga mayor es su alcance.
- c) Al aumentar el valor de la carga disminuye su alcance.
- d) Al aumentar el valor del campo el alcance aumenta.

III) Considere los siguientes valores en los cuadros blancos: $q=1$, $v=50$, $E=20$

-Calcula analíticamente la aceleración de la carga y el punto de impacto en la placa.

-Verifica con el uso del simulador tus resultados.

-¿Puedes concluir que el simulador FISLETS proporciona resultados correctos? Justifica tu respuesta.

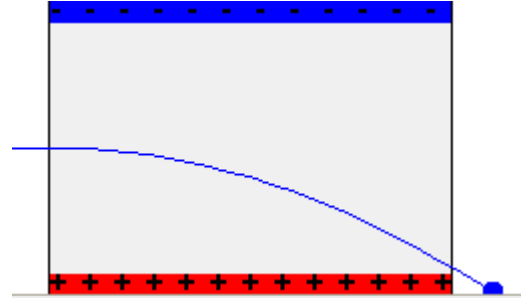
IV) Se desea que la carga impacte en el punto verde de la pantalla. Propone valores para q , v y E de modo de lograr satisfacer el pedido. Fundamenta la elección de tus valores con los cálculos teóricos. Chequea el impacto con el simulador.

2)

Anexo 4: Primera fase- Tercera etapa – Post simulador E

Primera parte: Suponiendo el lanzamiento horizontal de una carga en un campo uniforme creado por dos placas planas paralelas como se muestra:

- Dibuja las líneas de campo
- Dibuja la velocidad inicial de la carga.
- Representa también la fuerza sobre la carga.
- ¿Qué signo tiene la carga?... ¿por qué?.....

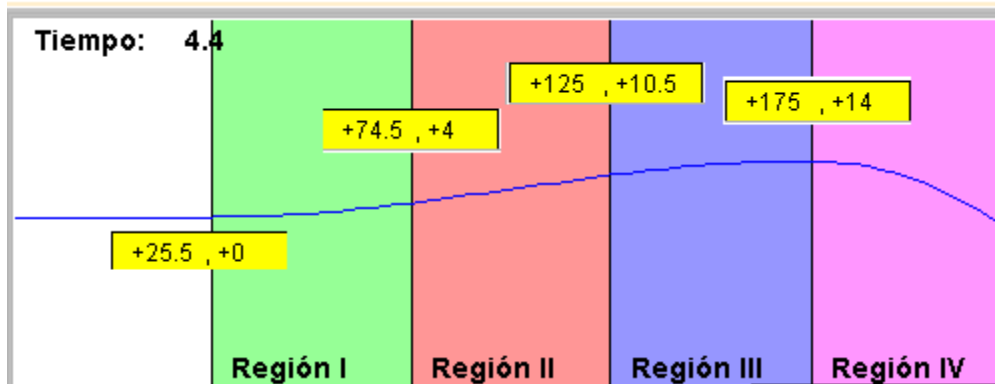


Segunda parte: Si la velocidad de lanzamiento de la pregunta anterior fuese el doble, qué cambiaría y por qué en:

- la trayectoria?
- la fuerza?.....

Tercera parte: Se lanza un electrón ($q = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$) a través de cuatro regiones en donde el campo eléctrico es uniforme (se han indicado las coordenadas de posición de los puntos de ingreso a cada región, en cm; el tiempo en s). La celeridad de ingreso a la primera región es de 60 cm/s. La carga ingresa por el punto medio moviéndose hacia la derecha. Utiliza esta información y la trayectoria que está dibujada, para responder:

- Dibuja las líneas de campo en cada región
- Ordena las regiones según el módulo del campo eléctrico, de menor a mayor.
- Con los datos mostrados en la pantalla, ¿cómo puedes determinar, de manera aproximada, el valor del campo en la región I? Explica tu razonamiento.



Anexo 5. Segunda fase- Primera etapa. Actividades de diagnóstico de movimiento de cargas en campo magnético (en aula)

Ejercicio: Un ión con carga negativa $-1,6 \cdot 10^{-19}$ C pasa a través de dos regiones: I y II, moviéndose inicialmente hacia la derecha en forma horizontal.

La rapidez del ión es 1000 m/s y la masa es $2,3 \cdot 10^{-25}$ kg.

En la región I no hay ningún campo, mientras que en la región II hay un campo magnético entrante y perpendicular al plano de esta hoja, de magnitud 2 T.

- a) ¿Qué movimiento tendrá el ión en la región I y por qué?.....

- b) ¿Qué movimiento tendrá el ión en la región II y por qué?.....

- c) Dibuje la trayectoria del ión en la figura, para las dos regiones. Explique: ¿por qué es así la gráfica?

- d) Si en lugar de ingresar un ión negativo, ingresa uno positivo de igual masa que el anterior, responda: ¿seguirá la misma trayectoria que el ión anterior?..... ¿por qué?.....

- e) Considere que ingresa el ión negativo con el doble de velocidad, ¿afectará esto a la trayectoria que dibujó? ¿Por qué?

Anexo 6. Segunda fase- Segunda etapa B. Laboratorio virtual de movimiento de cargas en campos magnéticos

Recurso: sitio

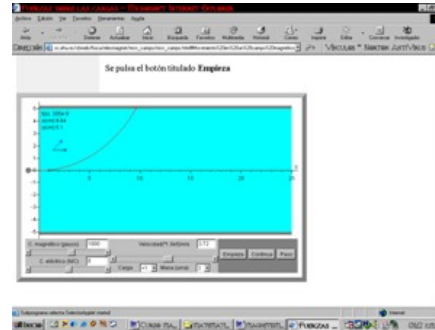
http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/mov_campo/mov_campo.html#Movimiento%20en%20un%20campo%20magnético

Actividades:

- 1) Ingresa a **actividades**. Encontrarás una pantalla como la siguiente:
- 2) Explora el significado de cada parámetro. Por ejemplo: ¿Qué representa cada vector (rojo y azul) en la pantalla?, ¿qué podemos variar, y entre qué valores?,...
- 3) Introduce un valor de campo eléctrico 0, de modo de estudiar sólo el movimiento por efectos del campo magnético. Elige el valor 0 para el campo magnético.
- 4) Siempre con campo eléctrico 0, ¿Qué trayectoria esperarías que siguiera una carga positiva en un campo magnético no nulo? ¿por qué?
- 5) Observa la trayectoria que sigue la carga es positiva, y decide si se corrobora tu hipótesis anterior.
- 6) Si la carga fuera negativa, pero de igual magnitud que la anterior positiva ¿qué debería cambiar respecto de lo que observaste en 5)? Chequea tu respuesta con el simulador.
- 7) Considera una carga positiva en un campo magnético de 1000 G. ¿Qué trayectoria esperarías observar?. Realiza la experiencia, considerando un valor de q fijo (indica cuál es) y tres valores diferentes de masa. Las tres trayectorias, ¿qué tienen en común y en qué difieren?.
- 8) Considera una carga negativa con una masa de 1 uma. ¿Qué trayectoria esperarías observar?. Realiza la experiencia, considerando un valor de q fijo (indica cuál es) y tres valores diferentes de campo magnético. Las tres trayectorias, ¿qué tienen en común y en qué difieren?
- 9) Ahora deseamos conocer de qué modo el cambio en la velocidad afecta a la trayectoria. Diseña una experiencia para ser realizada con el simulador que permita dar respuesta a esta pregunta. Realiza la experiencia, recoge los datos y escribe la respuesta (conclusión).
- 10) Registra en tablas los valores del radio de la trayectoria para diferentes factores (masa, carga, campo y velocidad). Considera al menos tres situaciones en cada caso. Puedes construir una tabla para organizar la información
- 11) Emite una conclusión que resuma de qué modo afecta la trayectoria, para un valor de carga fijo, la masa, el campo y la velocidad.
- 12) Introduce un valor de campo eléctrico no nulo, y analiza el movimiento de una carga positiva y luego de una negativa. Por ejemplo considera las siguientes configuraciones:

$$B = -10000 \text{ G}; E = 200000; v = 2.0 (10^{-5}); q = +1, m = 1 \text{ uma.}$$

$$B = 100 \text{ G}; E = 2000; v = 5.0 (10^{-5}); q = +1, m = 1 \text{ uma}$$

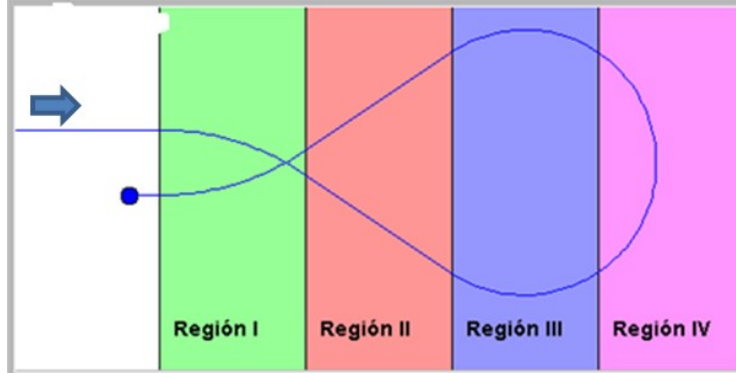


- 13) Elabora una *conclusión personal* que de cuenta de las ventajas (o desventajas) del uso de este simulador para el estudio del movimiento de cargas en campos.

Anexo 7. Segunda fase- Tercera etapa B. Actividades post laboratorio virtual

Ejercicio: Se lanza un electrón ($q = - 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$) que pasa sucesivamente por cuatro regiones donde actúan diferentes campos magnéticos uniformes y perpendiculares a la hoja. El electrón ingresa desde la izquierda con una velocidad horizontal de 90 m/s y se ha dibujado la trayectoria que sigue en las diferentes regiones. A partir de esta trayectoria, responde:

- a. ¿Qué orientación tiene el campo magnético en cada región? Dibújalos
- b. ¿cuánto vale el módulo de la velocidad del electrón en la región I? ¿y en la región II?..... Por qué?
- c. Ordena las regiones en términos de la intensidad de campo magnético actuante (de menor a mayor). Y justifica: ¿Por qué eliges esta ordenación? Es decir: ¿cuál es el criterio que usas para decidir cuál campo es más intenso que otro?.....
- d. Justifica por qué el electrón sigue la trayectoria mostrada en la región I.....
- e. Dibuja la fuerza que actúa sobre el electrón cuando pasa por la región III
- f. ¿Cómo cambiaría la trayectoria si ingresase un protón ($q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$). Dibuja la trayectoria en el mismo dibujo. Justifica cuál la razón de los cambios mostrados en la trayectoria.
- g. Si deseara que el electrón no entrara en la región II, ¿aumentaría o disminuiría la velocidad con que entra la partícula en la región I?..... Dé una prueba matemática a su respuesta.



Anexo 8: Organización de las respuestas de los estudiantes en las diferentes situaciones (correspondientes a Anexos 2 a 7):

Primera fase. Primera etapa (Anexo 2)

Este instrumento escrito se presentó a los alumnos antes del estudio formal del movimiento de cargas en campo eléctrico uniforme, y su objetivo fue determinar los posibles conocimientos en acto vinculados al movimiento de cargas en campos uniformes, interpretación de trayectorias, descripción en diferentes lenguajes y manejo de herramientas matemáticas, en una situación correspondiente al campo de la Mecánica (lanzamiento de proyectiles en campo gravitacional uniforme).

Primera fase- Primera etapa.						
Situación 2: Diagnóstico del movimiento de cargas en campo electrostático (Anexo 2)						
Alumno	F2	F4	F9	P2	P7	P10
Posibles conceptos en Acto (Mediante significados y relaciones)	-Movimiento uniformemente variado -velocidad	-Trayectoria	-Parábola -movimiento	-Parábola -velocidad	-parábola	-Trayectoria -Altura máxima
Posibles Teoremas en Acto (inferidos de las gráficas y respuestas verbales) Todos correspondientes al campo conceptual de la Mecánica	<i>La representación de una parábola indica siempre trayectoria (independiente del sistema de coordenadas) Proporcionalidad directa</i>	<i>Los ejes coordenados indican el tipo de movimiento Proporcionalidad directa Cuando actúa la fuerza peso la trayectoria es parabólica</i>	<i>La velocidad de lanzamiento sólo afecta la altura máxima La fuerza de la gravedad es atractiva</i>	<i>Todo lo que sube debe bajar.</i>	<i>La velocidad de lanzamiento sólo afecta la altura máxima La fuerza de la gravedad es atractiva</i>	<i>Superposición de movimientos Proporcionalidad directa La aceleración (de la gravedad) es negativa</i>

	<i>La aceleración (de la gravedad) es negativa</i>	<i>ca.</i>				
Representaciones	Trayectoria No ejes coordenados Diagrama de cuerpo libre	Trayectoria Mal ejes coordenados Diagrama de cuerpo libre	Trayectoria Ejes coordenados Diagrama de cuerpo libre	Trayectoria Ejes coordenados Diagrama de cuerpo libre	Trayectoria Mal ejes coordenados Diagrama de cuerpo libre Velocidad inicial.	Trayectoria Ejes coordenados Diagrama de cuerpo libre incorrecto.

Primera fase. Segunda etapa (Anexo 3)

Este instrumento consistió en el diseño de una actividad de laboratorio virtual, y se obtuvo como producción de los alumnos el informe del trabajo de laboratorio asistido por un software de uso libre y gratuito, en el Curso [Fislets](http://www.um.es/fem/Fislets/CD/II4Electromagnetismo/II19CampoElectrico/default.html): Enseñanza de Física con material interactivo, de Esquembre, Martín, Christian y Belloni, disponible en <http://www.um.es/fem/Fislets/CD/II4Electromagnetismo/II19CampoElectrico/default.html>.

Este laboratorio virtual se implementó luego de desarrollar contenidos teóricos y realizar ejercicios de lápiz y papel. Se llevó a cabo en el laboratorio de informática de la Institución educativa en la que se desarrollaron las clases.

En esta situación se buscó poner a los alumnos ante casos diferentes, mediados por el ordenador, que los llevaran a: anticipar comportamientos, validar hipótesis, formular argumentos y conjeturas relativas al movimiento de partículas en campos eléctricos uniformes. Así, al indagar sobre las explicaciones, conjeturas y posibles soluciones ofrecidas por los estudiantes se pretendió determinar los posibles conocimientos en acto puestos en juego en esta etapa en los argumentos y explicaciones.

Primera fase- Segunda etapa. Situación 3: Laboratorio virtual de movimiento de cargas en campo electrostático uniforme (Anexo 3)						
Alumno	F2	F4	F9	P2	P7	P10
Posibles conceptos en Acto	Escasas representaciones verbales.	Del campo conceptual de la Mecánica: fuerza, aceleración, tiempo y velocidad	Del campo conceptual de la Mecánica: fuerza, aceleración, cambio de movimiento Del campo conceptual de la Electroestática: campo,	Del campo conceptual de la Mecánica: fuerza, aceleración, cambio de movimiento Del campo conceptual de la Electroestática: campo	Del campo conceptual de la Mecánica: fuerza, aceleración, tiempo y velocidad	Del campo conceptual de la Mecánica: fuerza, aceleración, cambio de movimiento Del campo conceptual de la Electroestática: campo
Posibles Teoremas en Acto (inferidos de las gráficas y respuestas verbales)	Del campo conceptual de la Electroestática: 1) ley de cargas 2) <i>la fuerza –eléctrica- modifica la trayectoria</i> 3) <i>a mayor carga menor alcance</i> ” (proporcionalidad inversa) Del campo conceptual de la Mecánica: 4) <i>a mayor velocidad mayor alcance</i> (proporcionalidad directa, sin considerar	Del campo conceptual de la Electroestática: 1) ley de cargas 3) <i>la fuerza –eléctrica- modifica la trayectoria</i> 4) <i>a mayor carga menor alcance</i> ” (proporcionalidad inversa) Del campo conceptual de la Mecánica: 2) <i>a mayor velocidad mayor alcance</i> proporciona lidad directa, sin considerar	Del campo conceptual de la Electroestática: 1) Ley de cargas 2) Relación entre fuerza, carga y campo 3) <i>Si la trayectoria no es recta, hay campo</i> 4) <i>el campo cambia la trayectoria</i> ” (obviando la fuerza 5) <i>a mayor carga menor alcance</i> ” (proporcionalidad inversa) Del campo conceptual de la	Del campo conceptual de la Electroestática: 1) ley de cargas 2) Relación entre fuerza, carga y campo 2) <i>el campo cambia la trayectoria</i> ” (obviando la fuerza 3) <i>a mayor carga menor alcance</i> ” (proporcionalidad inversa) Del campo conceptual de la Mecánica: 4) <i>alcance proporcional al</i>	Del campo conceptual de la Electroestática: 1) Relación entre fuerza, carga y campo 2) <i>la fuerza –eléctrica- modifica la trayectoria</i> 3) <i>a mayor carga menor alcance</i> ” (proporcionalidad inversa) Del campo conceptual de la Mecánica: 4) <i>alcance proporcional al cuadrado de la velocidad</i>	Del campo conceptual de la Electroestática: 1) Relación entre fuerza, carga y campo 2) <i>Si la trayectoria no es recta, hay campo</i> 3) <i>el campo cambia la trayectoria</i> ” (obviando la fuerza 5) <i>a mayor carga menor alcance</i> ” (proporcionalidad inversa) Del campo conceptual de la Mecánica: 5) <i>alcance</i>

	superposición de movimientos)	superposición de movimientos) 5) a mayor fuerza menor tiempo –de recorrido	Mecánica: 6) a mayor velocidad mayor alcance proporcionalidad directa, sin considerar superposición de movimientos) 7) a mayor fuerza menor tiempo –de recorrido	cuadrado de la velocidad		proporción al al cuadrado de la velocidad
Representaciones	Simbólicas Producto de escalar por vector $F=q.E$ Icónicas: pantallas Verbales: Proporcionalidad directa /inversa	Icónicas: pantallas	Icónicas: pantallas Verbales: Proporcionalidad directa /inversa	Icónicas: pantallas	Simbólicas Producto de escalar por vector $F=q.E$ Alcance $\frac{v_0^2}{a} \sin 2\theta$ Icónicas: pantallas	Simbólicas vectoriales: Producto de escalar por vector $F=q.E$ Icónicas: pantallas
Observaciones en la elaboración de conjeturas:	Las conjeturas de F2 son muy generales, considera signos de cargas y placas, en sus respuestas domina el lenguaje verbal sin fundamentos.	Las conjeturas de F4 tienen algunos valores, y sus argumentos verbales son elementales	Las conjeturas de F9 son las más elaboradas de los alumnos del grupo F: presenta valores, y presenta argumentos verbales con conclusiones y respaldos.	Las conjeturas de P2 son semejantes a las de F9, aunque a diferencia de F9 cuantifica verbalmente algunos comportamientos	Las propuestas de P7 están construidas con símbolos para representar las variables, y presentan algunos errores en la interpretación verbal de variable dependiente e independien	En tanto a las conjeturas de P10 son las más generales, sus argumentos más completos, mostrando mayor disponibilidad de significados y relaciones científicamente correctos

					te, lo cual quita validez a sus argumentaci ones	
--	--	--	--	--	---	--

Primera fase. Tercera etapa (Anexo 4)

Este instrumento se aplicó luego del laboratorio virtual, y consistió en un problema el cual requería de interpretación, explicitación de relaciones entre conceptos, fundamentación de respuestas y anticipación de resultados. Con este instrumento finalizaba la recolección de datos de la primera fase, y permitió indagar, desde la Teoría de los campos conceptuales de G. Vergnaud, la evolución del concepto “movimiento de carga en campo eléctrico” conforme el alumno transita por el cursado de la asignatura.

Primera fase- Tercera etapa. Situación 4: Actividades posteriores al Laboratorio virtual de movimiento de cargas en campo electrostático (Anexo 4)						
Alumno	F2	F4	F9	P2	P7	P10
Posibles conceptos en Acto (significados y relaciones)	<p>Del campo conceptual de la mecánica velocidad-p osición-tiem po MRU aceleración fuerza-masa Relaciones cinemáticas: $y = \frac{1}{2}at^2$ $\vec{F} = m\vec{a}$</p> <p>Del campo conceptual del electromagnetismo: Ley de Coulomb Ley de cargas Relación entre F, q y E $\vec{F} = q\vec{E}$</p>	<p>Del campo conceptual de la mecánica velocidad-p osición-tiem po MRU fuerza-masa Del campo conceptual del electromagnetismo: Ley de Coulomb Ley de cargas Relación entre F, q y E $\vec{F} = q\vec{E}$</p>	<p>Del campo conceptual de la mecánica velocidad-p osición-tiem po MRU aceleración fuerza-masa R elaciones cinemáticas: $y = \frac{1}{2}at^2$ $\vec{F} = m\vec{a}$</p> <p>Del campo conceptual del electromagnetismo: Ley de</p>	<p>Del campo conceptual de la mecánica velocidad-p osición-tiem po MRU fuerza-masa R elaciones cinemáticas: $y = \frac{1}{2}at^2$</p> <p>Del campo conceptual del electromagnetismo: Ley de cargas $\vec{F} = q\vec{E}$</p>	<p>Del campo conceptual de la mecánica velocidad-p osición-tie mpo MRU fuerza-mas a Del campo conceptual del electromagnetismo Relación entre F, q y E</p>	<p>Del campo conceptual de la mecánica: posición-ace leración-tie mpo fuerza-masa - R elaciones cinemáticas: $y = \frac{1}{2}at^2$ $\vec{F} = m\vec{a}$</p> <p>Del campo conceptual del electromagnetismo: Ley de</p>

	cargas $\vec{F} = q\vec{E}$	\vec{E}	cargas $\vec{F} = q\vec{E}$			cargas Relación entre F, q y E $\vec{F} = q\vec{E}$ Del campo conceptual de la Matemática : Parábola y ramas
Posibles Teoremas en Acto (inferidos de las gráficas y respuestas verbales)	1) ley de cargas 2) proporcionalidad	1) ley de cargas 2) proporcionalidad	2) proporcionalidad	1) ley de cargas 2) proporcionalidad	2) proporcionalidad	1) ley de cargas
Representaciones	Simbólicas Vectoriales: $\vec{F} = q\vec{E}$ $\vec{F} = m\vec{a}$ Icónicas: Líneas de campo Pictóricas de vectores: Fuerza y velocidad Algebraicas: $y = \frac{1}{2}at^2$	Simbólicas Vectoriales: $\vec{F} = q\vec{E}$ Icónicas: Líneas de campo Pictóricas de vectores: Fuerza y velocidad	Simbólicas Vectoriales: $\vec{F} = q\vec{E}$ $\vec{F} = m\vec{a}$ Icónicas: Líneas de campo Pictóricas de vectores: Fuerza y velocidad Algebraicas: $y = \frac{1}{2}at^2$	Simbólicas Vectoriales: $\vec{F} = q\vec{E}$ $\vec{F} = m\vec{a}$ Icónicas: Líneas de campo Pictóricas de vectores: Fuerza y velocidad Algebraicas: $y = \frac{1}{2}at^2$	Icónicas: Líneas de campo Pictóricas de vectores: Fuerza y velocidad	Simbólicas Vectoriales: $\vec{F} = q\vec{E}$ $\vec{F} = m\vec{a}$ Icónicas: Líneas de campo Pictóricas de vectores: Fuerza y velocidad Algebraicas: $y = \frac{1}{2}at^2$

Conclusiones parciales: Evolución de conceptos en acto luego del uso de la simulación E

(por estudiante):

F2: En la primera actividad brindó respuestas empleando las nociones de “movimiento” y “velocidad”, sin emplear relaciones entre significados. Como posible teorema en acto surge

la asociación entre “parábola” y “trayectoria”, independientemente de los significados de los ejes coordenados en los que se realice la gráfica de la parábola. En la tarea mediada por simulador brindó escasos argumentos verbales, en los que aludió reiteradamente a la “**proporcionalidad**” y la “**ley de cargas**” para sus explicaciones, constituyéndose esta explicación reiterada en un posible teorema en acto. Presentó representaciones simbólicas algebraicas de relaciones entre significados del campo conceptual del electromagnetismo. En la tarea posterior al uso del simulador continuó recurriendo como respaldo en sus explicaciones a la “**ley de cargas**” y “**proporcionalidad**”. Las representaciones empleadas inicialmente fueron argumentos verbales, pero luego del uso del simulador se encuentran numerosas representaciones simbólicas vectoriales, icónicas y algebraicas. Luego del uso del simulador los posibles conceptos en acto fueron: velocidad, posición, tiempo, movimiento, aceleración, fuerza y masa (del campo conceptual de la mecánica), y relaciones algebraicas de variables cinemáticas.

F4: Este estudiante recurrió en las respuestas de las dos primeras tareas a palabras que representan las variables cinemáticas (significados del campo conceptual de la Mecánica). En la última tarea mostró un bajo dominio del concepto de movimiento de carga en campo eléctrico, al continuar recurriendo a la “**ley de cargas**” en sus explicaciones. También se recurrió a la “**proporcionalidad**” en sus explicaciones, constituyéndose esta argumentación reiterada en un posible teorema en acto. En la tarea posterior al uso del simulador incorporó relaciones del campo conceptual del electromagnetismo (Ley de Coulomb, ley de cargas, y relaciones entre fuerza, carga y campo), aunque no siempre adecuadamente empleadas. Recurre en sus argumentaciones a lenguaje verbal y simbólico (escaso), aunque no siempre adecuado a la cuestión a responder.

F9: Este estudiante que inicialmente caracterizaba el movimiento bidimensional de un proyectil y la interacción dominante, presentaba dificultades para interpretar la superposición de movimientos. En la última tarea mostró no sólo comprender la superposición de movimientos, sino expresarla con los recursos matemáticos adecuados. En sus primeras explicaciones de movimiento de carga en campo mostró reconocer la relación entre campo eléctrico y fuerza sobre carga en movimiento, aunque no pudo establecer relaciones cuantitativas entre el cambio de parámetros y el movimiento. Evidenció disponer de los significados y relaciones relativos al movimiento rectilíneo uniforme, así como de significados y relaciones del campo conceptual de la matemática necesarios para realizar representaciones algebraicas. Este alumno interpretó las modificaciones en el movimiento por cambios en parámetros, pero en general no cuantificó las relaciones, dominando en sus argumentos la “**proporcionalidad**”. En las tareas previas al uso del simulador empleó escasamente relaciones simbólicas, sin embargo en la última tarea empleó reiteradamente y de manera adecuada representaciones vectoriales de las relaciones entre significados propios del campo conceptual del electromagnetismo y de la mecánica.

P2: Este estudiante presenta en general explicaciones confusas, que hacen pensar en el bajo nivel de comprensión de los contenidos del movimiento en campos uniformes en las tres primeras etapas. Muchas de sus respuestas son intramatemáticas, con escasas vinculaciones al fenómeno físico, o con vinculaciones “formales” en las que se menciona un concepto pero no la relación con el tema en cuestión. Presenta reiteradamente como garantía de sus respuestas la “**ley de cargas**” y la “**proporcionalidad**”, constituyéndose en posibles teoremas en acto. También presenta como posible teorema en acto una relación entre “fuerza y velocidad”, y parece no reconocer la superposición de movimientos. Este alumno, no

obstante recurrir a representaciones simbólicas y algebraicas (escasas) no parece evidenciar una evolución en la conceptualización del tema luego de las tres tareas.

P7: Si bien en el diagnóstico presentó dificultades para reconocer curvas y la superposición de movimientos, y sus explicaciones se basaron en nociones del campo conceptual de la mecánica, comenzó paulatinamente a emplear (adecuadamente) la noción de campo y su relación con la fuerza eléctrica, por lo que luego de la tarea inicial los posibles conceptos en acto son “campo”, “fuerza eléctrica” y las relaciones entre ellos a través de la carga. Si bien en muchas situaciones no cuantificó relaciones, en algunos casos proporcionó argumentos algebraicos elaborados y correctos, para respaldar sus análisis lingüísticos. Mostró errores conceptuales como la relación entre fuerza-velocidad, pero empleó acertadamente en sus explicaciones la relación fuerza-carga-campo, mostrando disponibilidad de la misma desde el punto de vista físico como matemático. Un posible teorema en acto para este estudiante es la “**proporcionalidad**”.

P10: Este alumno, que en el diagnóstico pareciera confundir fuerza con velocidad, conforme avanzó el desarrollo de situaciones mostró la disponibilidad de los IOF y IOM (invariantes operatorios físicos y matemáticos) del tema. Reconoció la superposición de movimientos, asignó expresión simbólica a la interacción dominante, pudo establecer relaciones cualitativas y cuantitativas entre los parámetros involucrados en la descripción de movimiento. Estableció relaciones entre variables cinemáticas y electromagnéticas, empleando de manera precisa recursos de expresión matemáticos. Sólo en la última tarea recurre en una explicación a la “**ley de cargas**”. Brinda abundantes representaciones simbólicas, icónicas y algebraicas adecuadas que muestran disponibilidad de significados y relaciones científicamente correctas entre los mismos.

Segunda fase. Primera etapa (Anexo 5)

Segunda fase- Primera etapa.						
Situación 5: Diagnóstico de movimiento de cargas en campo magnético uniforme (Anexo 5)						
Alumno	F2	F4	F9	P2	P7	P10
Posibles conceptos en Acto (significados y relaciones)	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica</i> Fuerza movimiento</p> <p><i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> Fuerza magnética Carga</p>	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica</i> Fuerza centrípeta movimiento</p> <p><i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> Fuerza magnética Carga Campo magnético</p>	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica</i> Fuerza centrípeta Velocidad movimiento</p> <p><i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> Fuerza magnética Campo magnético Carga</p>	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica</i> Fuerza Aceleración Velocidad</p> <p><i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> Carga Campo magnético</p>	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica</i> Movimiento circular</p> <p><i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> Campo magnético</p>	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica</i> Fuerza centrípeta Movimiento Velocidad</p> <p><i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> Fuerza magnética Campo magnético</p>
Posibles Teoremas en Acto (inferidos de las gráficas y respuestas verbales)	<p><i>Del campo conceptual del electromagnetismo</i> La fuerza (magnética) produce un cambio en el movimiento . El sentido de la fuerza depende del signo de la carga.</p>	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica</i> La fuerza magnética es centrípeta <i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> El campo magnético ejerce una fuerza perpendicular a la</p>	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica</i> La fuerza magnética es centrípeta <i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> El campo magnético ejerce una fuerza perpendicular a la</p>	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica:</i> Toda fuerza produce una aceleración. La aceleración es un cambio en la magnitud de la velocidad. <i>Del campo conceptual del electromagnetismo :</i></p>	<p><i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> El campo magnético hace que el ion describa un movimiento circular. El sentido de la fuerza depende del signo de la carga <i>Si no hay Campo no</i></p>	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica</i> La fuerza magnética es centrípeta <i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> El campo magnético ejerce una fuerza perpendicular a la</p>

		<p>velocidad de la carga <i>Si no hay Campo no hay fuerza que cambie el movimiento</i> La fuerza (magnética) produce un cambio en el movimiento . El sentido de la fuerza depende del signo de la carga. La trayectoria –en un campo magnético– es circular.</p>	<p>velocidad de la carga. La fuerza (magnética) produce un cambio en el movimiento . El sentido de la fuerza depende del signo de la carga</p>	<p>El sentido de la fuerza depende del signo de la carga. La trayectoria –en un campo magnético– es circular. Regla de la mano derecha.</p>	<p><i>hay fuerza que cambie el movimiento</i></p>	<p>velocidad de la carga. La fuerza (magnética) produce un cambio en el movimiento . El sentido de la fuerza depende del signo de la carga. La trayectoria –en un campo magnético– es circular.</p>
Representaciones	<p>Simbólicas Vectoriales: relación entre fuerza y campo magnético Icónicas: trayectorias Pictóricas de vectores: Algebraicas: $R = \frac{mv}{qB}$</p>	<p>Simbólicas Vectoriales: Icónicas: trayectorias Pictóricas de vectores: Algebraicas: $R = \frac{mv}{qB}$</p>	<p>Simbólicas Vectoriales: Icónicas: trayectorias Pictóricas de vectores: fuerza Algebraicas: $R = \frac{mv}{qB}$</p>	<p>Simbólicas Vectoriales: Icónicas: trayectorias Pictóricas de vectores: Algebraicas: $R = \frac{mv}{qB}$</p>	<p>Simbólicas Vectoriales: Icónicas: trayectorias Pictóricas de vectores: fuerza Algebraicas: $R = \frac{mv}{qB}$</p>	<p>Simbólicas Vectoriales: relación entre fuerza y campo Icónicas: trayectorias Pictóricas de vectores: fuerza Algebraicas: $R = \frac{mv}{qB}$ Relación entre $\frac{ \vec{v} }{ \vec{F} }$ y</p>
Observaciones:	no reconoce propiedades de la fuerza magnética y relación con			no reconoce propiedades de la fuerza magnética y relación con		

	trayectoria			trayectoria		
--	-------------	--	--	-------------	--	--

Segunda fase. Segunda etapa (Anexo 6)

Segunda fase- Segunda etapa.						
Situación 6: Laboratorio de movimiento de cargas en campo magnético uniforme (Anexo 6)						
Alumno	F2	F4	F9	P2	P7	P10
Posibles conceptos en Acto (significados y relaciones)	<i>Del campo conceptual de la mecánica</i> Trayectoria circular Movimiento Velocidad Fuerza Radio <i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> Fuerza magnética Campo magnético	<i>Del campo conceptual de la mecánica</i> Trayectoria circular Movimiento Velocidad Fuerza Radio <i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> Fuerza magnética Campo magnético	<i>Del campo conceptual de la mecánica</i> Trayectoria circular Movimiento Velocidad Fuerza Radio <i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> Fuerza magnética Campo magnético	<i>Del campo conceptual de la mecánica</i> Trayectoria circular Movimiento Velocidad Fuerza Radio <i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> Fuerza magnética Principio de superposición de fuerzas Campo magnético Campo eléctrico	<i>Del campo conceptual de la mecánica</i> Trayectoria circular Movimiento Velocidad Fuerza Radio <i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> Fuerza magnética Campo magnético Campo eléctrico	<i>Del campo conceptual de la mecánica</i> Trayectoria circular Movimiento Velocidad Fuerza Radio <i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> Fuerza magnética Principio de superposición de fuerzas Campo magnético Campo eléctrico
Posibles Teoremas en Acto (inferidos de las gráficas y respuestas verbales)	<i>Del campo conceptual del electromagnetismo</i> El campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento	<i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> “El campo magnético siempre produce trayectoria circular”	<i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> El campo magnético produce una fuerza sobre la carga en	<i>Del campo conceptual del electromagnetismo :</i> “El campo magnético siempre produce trayectoria	<i>Del campo conceptual del electromagnetismo:</i> “El campo magnético siempre produce trayectoria circular”	<i>Del campo conceptual de la mecánica</i> La fuerza magnética es centrípeta <i>Del campo conceptual del</i>

	<p>La carga en el campo magnético realiza un movimiento circular. El radio de la trayectoria es proporcional a la velocidad, a la masa e inversamente al campo.</p>	<p>El campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento. El radio de la trayectoria es proporcional a la velocidad, a la masa e inversamente al campo.</p>	<p>movimiento circular. La carga en el campo magnético realiza un movimiento circular. El signo de la carga determina el sentido de giro. El radio de la trayectoria es proporcional a la velocidad, a la masa e inversamente al campo.</p>	<p>circular”. El campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento. El radio de la trayectoria es proporcional a la velocidad, a la masa e inversamente al campo.</p>	<p>El campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento. El signo de la carga determina el sentido de giro. El radio de la trayectoria es proporcional a la velocidad, a la masa e inversamente al campo.</p>	<p>electromagnetismo: La fuerza magnética es perpendicular a la velocidad. El campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento. La carga en el campo magnético realiza un movimiento circular. El signo de la carga determina el sentido de giro. El radio de la trayectoria es proporcional a la velocidad, a la masa e inversamente al campo. Regla de la mano derecha.</p>
<p>Representaciones</p>	<p>Icónicas: pantallas con trayectorias</p>	<p>Icónicas: pantallas con trayectorias</p>	<p>Icónicas: pantallas con trayectorias</p>	<p>Icónicas: pantallas con trayectorias</p>	<p>Simbólicas Vectoriales: $\vec{F} = q \vec{E} + q \vec{v} \times \vec{B}$ Icónicas Algebraicas:</p>	<p>Icónicas: pantallas con trayectorias</p>

					$R = \frac{mv}{qB}$	
--	--	--	--	--	---------------------	--

Segunda fase. Tercera etapa (Anexo 7)

Segunda fase- Tercera etapa. Situación 7: Post Laboratorio de movimiento de cargas en campo magnético uniforme (Anexo 7)						
Alumno	F2	F4	F9	P2	P7	P10
Posibles conceptos en Acto (significados y relaciones)	<p>Del campo conceptual de la mecánica Trayectoria-movimiento circular-velocidad fuerza</p> <p>Del campo conceptual del electromagnetismo: Campo magnético Radio órbita</p> <p>Relación entre: campo magnético y cambio en el movimiento/t rayectoria</p>	<p>Del campo conceptual de la mecánica Trayectoria-movimiento circular-velocidad fuerza</p> <p>Del campo conceptual del electromagnetismo: Campo magnético Radio órbita</p> <p>Relación entre: campo magnético y cambio en el movimiento/t rayectoria</p>	<p>Del campo conceptual de la mecánica Trayectoria-movimiento circular-velocidad fuerza</p> <p>Del campo conceptual del electromagnetismo: Campo magnético Radio órbita</p>	<p>Del campo conceptual de la mecánica Trayectoria-movimiento circular-velocidad fuerza</p> <p>Del campo conceptual del electromagnetismo: Campo magnético Radio órbita</p> <p>Del campo conceptual de la Matemática: fuerza magnética como campo vectorial</p>	<p>Del campo conceptual de la mecánica Trayectoria-movimiento circular-velocidad fuerza</p> <p>Del campo conceptual del electromagnetismo: Campo magnético Radio órbita</p>	<p>Del campo conceptual de la mecánica Trayectoria-movimiento circular-velocidad fuerza</p> <p>Del campo conceptual del electromagnetismo: Campo magnético Radio órbita</p> <p>Relación entre: campo magnético y cambio en el movimiento/t rayectoria</p> <p>Del campo conceptual de la Matemática: fuerza magnética como campo vectorial</p>

<p>Posibles Teoremas en Acto (inferidos de las gráficas y respuestas verbales)</p>	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica</i></p> <p><i>Del campo conceptual del electromagnetismo</i> el campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento. El campo cambia el movimiento de la carga. La carga realiza un movimiento circular. Radio proporcional a velocidad</p>	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica</i></p> <p><i>Del campo conceptual del electromagnetismo</i> el campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento. El campo cambia el movimiento de la carga. La carga realiza un movimiento circular.</p>	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica</i></p> <p><i>Del campo conceptual del electromagnetismo</i> La carga realiza un movimiento circular.</p>	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica</i></p> <p><i>Del campo conceptual del electromagnetismo</i> el campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento. La carga realiza un movimiento circular. Radio proporcional a velocidad. Regla de la mano derecha</p>	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica</i></p> <p><i>Del campo conceptual del electromagnetismo</i> La fuerza magnética es perpendicular a la velocidad. La carga realiza un movimiento circular. Radio proporcional a velocidad y masa.</p>	<p><i>Del campo conceptual de la mecánica</i></p> <p><i>Del campo conceptual del electromagnetismo</i> el campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento. La fuerza magnética es perpendicular a la velocidad. La carga realiza un movimiento circular. Radio proporcional a velocidad y masa. Regla de la mano derecha</p>
<p>Representaciones</p>	<p>Simbólicas Vectoriales: $\vec{F}_c = m \vec{a}_c$</p> <p>Icónicas: trayectorias Pictóricas de vectores: velocidad, fuerza, campo Algebraicas: relación entre fuerza y campo</p>	<p>Simbólicas Vectoriales: $\vec{F}_c = m \vec{a}_c$</p> <p>Icónicas: trayectorias Pictóricas de vectores: velocidad, fuerza, campo Algebraicas: relación entre fuerza y campo</p>	<p>Icónicas: trayectorias Pictóricas de vectores: velocidad, fuerza, campo Algebraicas: relación entre fuerza y campo $R = \frac{mv}{qB}$</p>	<p>Icónicas: trayectorias Pictóricas de vectores: velocidad, fuerza, campo Algebraicas: $R = \frac{mv}{qB}$</p>	<p>Icónicas: trayectorias Pictóricas de vectores: velocidad, fuerza, campo Algebraicas: $R = \frac{mv}{qB}$</p>	<p>Simbólicas Vectoriales: $\vec{F}_c = m \vec{a}_c$ $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$</p> <p>Icónicas: trayectorias Pictóricas de vectores: velocidad, fuerza, campo Algebraicas: $R = \frac{mv}{qB}$</p>

	$R = \frac{mv}{qB}$	$R = \frac{mv}{qB}$				
--	---------------------	---------------------	--	--	--	--

Conclusiones parciales: Evolución de conceptos en acto luego del uso de la simulación B (por estudiante):

F2: El alumno recurre en la primera situación a posibles significados del campo conceptual de la mecánica (fuerza y movimiento), y del campo conceptual del magnetismo (fuerza magnética y carga eléctrica); como posibles teoremas iniciales en acto **“la fuerza magnética produce un cambio en el movimiento”** y **“el sentido de la fuerza magnética depende del signo de la carga”**. Sus representaciones iniciales fueron icónicas (trayectorias), algebraicas y vectoriales simbólicas. En el informe de la tarea mediada por el simulador, incorpora a los posibles significados mostrados en la tarea inicial, los de “trayectoria circular”, “radio”, “campo magnético”. Vuelve a recurrir a los anteriores posibles teoremas, incorporando además **“la carga realiza un movimiento circular”** y **“el radio de la trayectoria es proporcional a la masa, la velocidad e inversamente al campo”**. En esta tarea con simulador no emplea representaciones simbólicas, ni algebraicas. En la última tarea, continúa recurriendo a las nociones del campo conceptual de la mecánica y del magnetismo dadas desde el comienzo, e incorpora relaciones entre significados expresadas simbólicamente. También recurre a alguna representación vectorial y a representaciones pictóricas (de vectores y trayectorias). Los posibles teoremas en acto continúan siendo los dados en las tareas anteriores: **“la carga realiza un movimiento circular”**, **“el radio de la trayectoria es proporcional a la velocidad”**, **“el campo cambia el movimiento de la carga”** y **“el campo magnético produce fuerza sobre la carga en movimiento”**.

F4: De manera semejante al alumno anterior, muestra los posibles conceptos en acto “campo magnético”, “fuerza”, “carga” y movimiento”, y relaciones entre ellos expresadas de manera

verbal y escasamente de manera simbólica algebraica. Los posibles teoremas en acto son los mismos del alumno **F2**.

F9: Para este estudiante el posible Teorema en acto que prevalece en todas las explicaciones es que **“la carga en un campo magnético realiza un movimiento circular”**. No recurre a representaciones vectoriales en sus explicaciones, pero sí a relaciones de proporcionalidad expresadas verbalmente y acompañadas por una relación algebraica entre variables. Los posibles conceptos en acto iniciales del campo conceptual de la mecánica (fuerza y movimiento) son incorporados en las explicaciones finales que incluyen las nociones propias del magnetismo (campo magnético, fuerza magnética, radio de la trayectoria de la carga).

P2: En la primera situación emplea las ideas de “fuerza”, “aceleración” y “velocidad”, básicas de la mecánica, y “carga”, “campo magnético” del campo conceptual del electromagnetismo: éstos significados conformarían los posibles conceptos en acto del estudiante. Los posibles teoremas en acto iniciales son explicaciones vinculadas a la mecánica: **“toda fuerza produce aceleración”** y **“la aceleración es el cambio en la magnitud de la velocidad”**, además de explicaciones vinculadas al magnetismo: **“el sentido de la fuerza depende de la carga”**, **“la trayectoria es circular”** y **“regla de la mano derecha”**. Este alumno recurre a representaciones pictóricas de trayectoria y algebraicas. En el informe de la tarea mediada por simulador nuevamente recurre a los significados del campo conceptual de la mecánica, y verbaliza relaciones que se conforman en posibles teoremas en acto, **“el campo siempre produce una trayectoria circular”**, **“el radio de la trayectoria es proporcional a la velocidad y la masa”**, **“el campo magnético produce fuerza sobre la carga en movimiento”**. Después del uso del simulador continúa sin

incorporar representaciones vectoriales de las relaciones y nuevamente explicita los mencionados anteriormente como posibles teoremas en acto, y nuevamente la **“regla de la mano derecha”**.

P7: En la primera situación los posibles conceptos en acto para este estudiante son los significados de “movimiento circular, velocidad, fuerza” propios de la Mecánica, y “fuerza magnética, campo eléctrico y magnético” del campo conceptual del electromagnetismo; mientras que de sus explicaciones se desprenden los posibles TA que se vuelven a emplear en los informes siguientes: **“el campo magnético siempre produce trayectoria circular”**, **“el campo magnético produce fuerza sobre la carga en movimiento”**, **“el signo de la carga determinará el sentido de la fuerza”**. En el informe del simulador incorpora representaciones vectoriales simbólicas que evidencian la disponibilidad del significado de “superposición de fuerzas”. Después del uso del simulador emplea representaciones de trayectorias y una representación algebraica. Se sostiene el posible TA **“la carga realiza movimiento circular”** y se incorpora la explicación más conceptual **“la fuerza magnética es perpendicular a la velocidad”**.

P10: El estudiante recurre en la situación inicial a significados propios del campo conceptual de la mecánica (fuerza, trayectoria circular, radio, velocidad) y significados y relaciones del electromagnetismo (principio de superposición de fuerzas, campo eléctrico y magnético). De sus respuestas verbales y gráficas, se inducen los siguientes posibles teoremas iniciales en acto: **“la fuerza magnética es perpendicular a la velocidad”**, **“el campo magnético produce fuerza sobre la carga en movimiento”**, **“el signo de la carga determina el sentido de la fuerza”**, **“la carga en el campo magnético realiza un movimiento circular”** y la **“regla de la mano derecha”**. Recurre a representaciones simbólicas vectoriales y

algebraicas. En la tarea con el simulador, recurre nuevamente a las nociones y relaciones dadas en el diagnóstico. En la tarea final manifiesta disponer del significado de “campo vectorial” (propio del campo conceptual de la matemática), al reconocer la variabilidad de la fuerza magnética sobre la carga punto a punto, en el espacio en el que existe un campo magnético uniforme. Representa relaciones entre magnitudes físicas empleando lenguaje vectorial preciso, y relaciones algebraicas.
