



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

## **MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR**

### **FACULTAD DE CIENCIAS**

**DIFICULTADES DE LOS ESTUDIANTES DEL COLEGIO DE CIENCIAS Y  
HUMANIDADES, ASOCIADAS CON EL PROCESO DE LECTO-ESCRITURA DE  
LA IMAGEN EN FÍSICA**

## **TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN DOCENCIA PARA LA  
EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR  
(FÍSICA)**

PRESENTA:

**GUILLERMO PATRICIO NEUMANN COTO**

TUTORA PRINCIPAL: DRA. MARÍA DEL PILAR SEGARRA ALBERÚ.  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM.

**MÉXICO, D.F. JUNIO, 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

***A Andrei Dersu por ser quien es.***

***A Claudia, Max y el Tío Raúl por su apoyo incondicional.***

***A Citlalin.***

***A mis padres.***

**Agradecimientos:**

**Agradezco a la Dra. Pilar Segarra, por su invaluable guía y paciencia. Al Dr. Mauricio Beuchot por predicar con el ejemplo. Al Dr. Jorge Barojas, por su exigencia compartida. A Roberto Miranda, por su generosidad al crear las condiciones durante la práctica docente.**

**A Ana Flores, marinera del mismo barco.**

**A la Dra. Ofelia Contreras, a la Dra. Alejandra García Franco, a la Dra. María de los Ángeles Ortiz, y a la M en C. Mirna Villavicencio, integrantes del comité tutorial y sínodo, por leer, evaluar y comentar este trabajo.**

**A los maestros de la MADEMS, por su esfuerzo.**

**A los trabajadores administrativos de la MADEMS y del posgrado de la Facultad de Ciencias, por su atención.**

**A CONACYT, sin cuyo apoyo económico esta tesis no habría sido.**

## RESÚMEN

En el contexto de la sociedad tecno científica, la transmisión de información a través de medios visuales toma un papel central. No obstante, el uso de la imagen dista mucho de ser trivial o directo y requiere que las personas interactúen con la información presentada de manera visual de manera reflexiva, analítica y crítica para que ésta sea transformada en conocimiento.

La investigación que aquí se presenta fue dirigida hacia la detección, análisis y clasificación de algunas dificultades que emergen durante la lectoescritura de imágenes en el contexto de la enseñanza-aprendizaje de la física.

La investigación fue llevada a cabo con dos grupos del Colegio de Ciencias y Humanidades, de la Ciudad de México, a lo largo de tres semestres. Se crearon actividades a partir de distintos tipos de imágenes bidimensionales, estáticas y móviles, incluyendo imágenes asociadas con prácticas experimentales y simuladores.

Se propuso un modelo que permite localizar las dificultades a partir de considerar el proceso enseñanza-aprendizaje en dos escalas; como un proceso de comunicación y como un proceso de construcción intelectual lo que implicó considerar con profundidad tanto las teorías de comunicación como las teorías psicopedagógicas.

Se planteó la necesidad de establecer una evaluación gradada para ser congruente con las posturas constructivistas y se llevó a cabo a partir del análisis sintáctico de las imágenes creadas por los alumnos como representaciones de conceptos, procesos o fenómenos físicos.

El estudio mostró diferentes tipos de dificultades, tanto en la lectura como en la escritura de imágenes, por ejemplo, en la extracción de datos, en la interpretación y en la manera de relacionar diferentes representaciones. Por otro lado, se encontró que no obstante que los estudiantes reconocen la importancia de la imagen y del uso de simuladores para el aprendizaje, los consideran menos valiosos que las formas tradicionales de evaluación, más relacionadas con la calificación.

## ABSTRACT

In the context of the scientific technological society, the transmission of information through visual media takes central importance. However, the use of images, far from being trivial or direct, requires that people reflect, review and analyze the information so that it is transformed into knowledge.

The research presented was directed towards the detection, analysis and classification of some difficulties that arise during the reading and writing of images in the context of teaching and learning of physics.

The investigation was carried out with two groups of the Sciences and Humanities High School (CCH) in Mexico City, over three semesters. Activities were created from different types of two-dimensional images, static and mobile, including images associated with experimental practices and simulators.

It is proposed a model to identify difficulties included in the teaching-learning process in two scales: as a process of communication and as an intellectual construction. These meant an in depth consideration of communication and psycho-pedagogic theories.

It raised the need for a graded assessment to be consistent with constructivist positions and conducted from the syntactic analysis of images created by students as representations of concepts, processes and physical phenomena.

This study showed different types of difficulties in both, reading and writing of images, for example, data extraction, interpretation, and the way to relate different representations. On the other hand, we found that, although students recognize the importance of image and simulators for learning, they considered less valuable than traditional forms of assessment, more related to the grade.

# ÍNDICE

<b>1. IDENTIFICACIÓN, CONTEXTUALIZACIÓN Y EXPLICACIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>Pág 1</b>
1.1.1. Comentario introductorio.	1
1.1.2. Importancia de la lectoescritura de la imagen en la sociedad contemporánea.	1
1.1.3. Planteamiento del problema.	6
1.1.4. Preguntas de investigación.	8
1.1.5. Objetivos.	8
1.1.6. Supuestos.	9
<b>2. MARCO TEÓRICO Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA</b>	<b>10</b>
2.1. JUSTIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEFINICIONES Y CONCEPTOS PRELIMINARES.	10
2.1.1. Justificación de la estructura.	10
2.1.2. Definiciones y conceptos básicos.	11
2.1.3. Tipos de imágenes presentes en el área de la física.	14
2.2. DOS FUNCIONES DE LA IMAGEN DURANTE EL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE; LA COMUNICACIÓN Y LA CONSTRUCCIÓN INTELECTUAL.	15
2.2.1.1. Usos e importancia de las representaciones visuales en el proceso enseñanza-aprendizaje de la física.	15
2.2.1.2. ¿Qué se entiende por una dificultad en la lectoescritura de la imagen durante el proceso enseñanza-aprendizaje de la física?.	19
2.2.2. EL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE COMO UN PROCESO DE COMUNICACIÓN.	20
2.2.2.1. Elementos básicos del proceso de comunicación: Emisor, receptor y mensaje.	21
2.2.2.2. Dificultades asociadas al flujo de información durante el acto comunicativo.	21

2.2.2.3. Dualidad de las representaciones externas: Representaciones u objetos.	23
2.2.2.4. El papel del maestro en la selección de los mensajes durante el proceso enseñanza-aprendizaje: la transposición didáctica.	25
2.2.2.5. Representaciones internas y representaciones externas durante el acto de comunicación.	27
2.2.2.6. Transformación de la información desde la mente del emisor hasta la mente del receptor.	28
2.2.2.7. El alumno como emisor-receptor de sus propios mensajes.	29
2.2.3. IMAGEN Y CONSTRUCCIÓN INTELECTUAL.	29
2.2.3.1. Imagen y aprendizaje significativo.	30
2.2.3.2. Imagen interna y modelos mentales.	33
2.2.3.3. Modelos mentales y modelos conceptuales.	34
2.2.3.4. La imagen como representación de conceptos físicos.	35
2.2.3.5. La imagen durante la creación de esquemas y en los procesos metacognitivos.	37
2.2.3.6. Papel de la imagen como apoyo a la memoria activa.	39
2.2.3.7. Relación entre imagen, cambio conceptual y concepto.	41
2.2.3.8. Aspectos útiles para una posible categorización de las dificultades en la lectoescritura de la imagen.	44
2.2.3.9. Uso de la imagen y gradación del aprendizaje.	46
2.2.4. ASPECTOS SEMIÓTICOS RELACIONADOS CON LA LECTOESCRITURA DE LA IMAGEN DURANTE EL PROCESO ENSEÑANZA APRENDIZAJE DE LA FÍSICA.	47
2.2.4.1. Análisis sintáctico de la imagen externa.	48
2.2.4.2. Análisis semántico de la imagen externa.	51
2.2.5. PROPUESTA DE UN MODELO INTEGRADOR PARA EXPLICAR LAS DIFICULTADES ASOCIADAS CON LA LECTOESCRITURA DE LA IMAGEN DURANTE EL PROCESO ENSEÑANZA APRENDIZAJE DE LA FÍSICA.	52
2.2.5.1. Objetivo del modelo	52

2.2.5.2.	¿Por qué puede ser útil el modelo?	52
2.2.5.3.	Supuestos del modelo	53
2.2.5.4.	Descripción de los elementos involucrados en el modelo teórico para estudiar la relación entre la imagen y el proceso enseñanza aprendizaje de la física.	55
2.2.5.5.	Relación del modelo con las dificultades asociadas a la lectoescritura de la imagen durante el proceso enseñanza aprendizaje de la física.	58
2.2.5.6.	Descripción de la evaluación de las representaciones visuales externas realizadas por los alumnos para representar conceptos, procesos o fenómenos físicos, desde la perspectiva del modelo presentado.	59
<b>3.</b>	<b>PROPUESTA METODOLÓGICA</b>	<b>61</b>
3.1.1.	Características de la población.	61
3.1.2.	Etapas del estudio.	61
3.1.3.	Estructura de la clase durante la investigación.	62
3.1.4.	Instrumentos para la recolección de datos.	64
3.1.4.1.	Características de las actividades.	64
3.1.4.2.	Uso de simuladores.	65
3.1.4.2.1.	Antecedentes sobre el uso de simulaciones durante el aprendizaje de la física.	65
3.1.4.3.	Evaluación de las respuestas a las actividades .	67
3.1.4.4.	Organización y análisis de datos.	67
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>69</b>
4.1.	DESCRIPCIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE ALGUNAS DIFICULTADES SEMIÓTICAS RELACIONADAS CON LAS REPRESENTACIONES VISUALES EXTERNAS ESTÁTICAS DE CONCEPTOS Y FENÓMENOS FÍSICOS.	69
4.1.1	Algunas posibles causas de dificultades que se presentan en los alumnos asociadas con la lectoescritura de la imagen en física.	80



4.2. ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA LECTOESCRITURA DE IMÁGENES RELACIONADAS CON CONCEPTOS Y/O FENÓMENOS FÍSICOS: LECTOESCRITURA DEL POTENCIAL ELECTROSTÁTICO	81
4.2.1.1. Representaciones externas relacionadas con el campo electrostático	83
4.2.1.2. Resultados de la aplicación de la estrategia.	86
4.2.1.3. Dificultades asociadas al uso de representaciones planas de fenómenos físicos tridimensionales: representación plana del campo eléctrico de una carga puntual.	88
4.3. PROPUESTA PARA UNA EVALUACIÓN GRADADA DE LAS IMÁGENES EXTERNAS REALIZADAS POR LOS ALUMNOS	89
4.3.1.1. Definición de objetivos relacionados con el uso de la imagen.	89
4.3.1.2. Criterios de evaluación en el caso de las representaciones del campo magnético asociado a un electroimán.	91
4.3.1.3. Dificultades para trasladar a una representación plana la información del campo magnético de un solenoide.	96
4.4. VALORACIÓN DE LOS ALUMNOS RELATIVA AL USO DE LA IMAGEN DURANTE EL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA FÍSICA	96
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>98</b>
5.1. Conclusiones respecto al modelo propuesto para explicar el papel de la imagen y las dificultades de lectoescritura durante el proceso enseñanza-aprendizaje de conceptos, procesos y fenómenos físicos.	98
5.2. Conclusiones sobre la detección, análisis y clasificación de algunas de las dificultades de lectoescritura de la imagen que presentan los alumnos de un grupo de física introductoria del Colegio de Ciencias y Humanidades, cuando la imagen externa se utiliza para la	

representación y para la comunicación de conceptos, procesos y fenómenos físicos.	100
5.3. Conclusiones relacionadas con la necesidad de considerar la alfabetización visual en física como un elemento integral de los cursos de física de educación media donde se pretende el aprendizaje conceptual significativo.	101
5.4. Perspectivas del trabajo futuro.	103
<b>ANEXOS</b>	<b>104</b>
ANEXO I: Ejemplos de actividades propuestas centradas en el uso de la imagen.	104
Ejemplo de situaciones relacionadas con cinemática.	104
Ejemplo de situaciones relacionadas con el uso de simuladores en cinemática.	106
Ejemplo de situaciones relacionadas con electrostática.	108
ANEXO II: Artículo publicado en Latin American Journal of Physics Education, vol 6, supplement i, august 2012, 330-334.	112
ANEXO III: Ponencia presentada en la “World Conference on Physics Education, 2012” (WCPE 2012) llevada a cabo del 1 al 6 de julio de 2012, en Estambul, Turquía.	119
ANEXO IV: Ejemplo de situaciones relacionadas con el uso de simuladores o de imágenes provenientes de ellos y respuestas dadas por los alumnos respecto a la importancia de su uso para el aprendizaje de la física.	130
ANEXO V: Actividad para relacionar la captura y análisis de datos de prácticas experimentales con la lectoescritura de la imagen usando nuevas tecnologías.	141
BIBLIOGRAFÍA	164

# **1. IDENTIFICACIÓN, CONTEXTUALIZACIÓN Y EXPLICACIÓN DEL PROBLEMA.**

## **1.1.1. COMENTARIO INTRODUCTORIO**

La idea de investigar el uso de la imagen en los cursos de física surgió de buscar un hilo conductor que pudiera llevarse a cabo durante la práctica docente a lo largo de uno o dos semestres, sin sacrificar por ello los temas establecidos en el programa oficial. Se buscó simultáneamente una perspectiva que permitiera explorar el aula como lugar de investigación, no limitándose al desarrollo y puesta en práctica de una estrategia didáctica, sino buscando un cambio a fondo en la manera de concebir la labor docente.

La problemática seleccionada resultó más difícil de lo que inicialmente se vislumbraba. Hubo que partir desde las bases, valiéndose de una perspectiva multidisciplinaria, para establecer el marco teórico que permitiera construir el andamiaje necesario para modelar el papel que juega la imagen en el proceso de enseñanza aprendizaje de la física.

A diferencia de planteamientos más apegadas a los cánones disciplinarios, la propuesta que aquí se hace requiere la integración de conceptos y perspectivas proveniente de diferentes áreas, considerándolas igualmente importantes. El costo, sin embargo, es la necesidad de utilizar un marco teórico sumamente amplio, donde en ocasiones la polisemia de las palabras parecería amenazar la comunión de ideas. Por ello que se ha intentado mantener especial cuidado en explicitar el sentido en que las palabras son usadas, no sin los riesgos que cualquier forma de comunicación conlleva.

Así mismo, dada la transversalidad de origen, las actividades abarcan diferentes campos de la física, por lo que la profundización teórica no ocurre en el ámbito disciplinario, sino en la integración mencionada. Esto, por supuesto, no demerita la atención puesta en los aspectos conceptuales de la física, que son la materia de trabajo.

## **1.1.2. IMPORTANCIA DE LA LECTOESCRITURA DE LA IMAGEN EN LA SOCIEDAD CONTEMPORÁNEA.**

A partir del desarrollo de la computación y, con él, de la evolución de los medios masivos de comunicación y de las nuevas tecnologías de la información (TIC), la presencia de la imagen ha sufrido una revolución que implica un uso intencionado en múltiples ámbitos y que es sintomático en al menos dos aspectos: el incremento de su densidad espacio-temporal de la información audio visual y la participación en un

juego de inmediatez-permanencia de la misma. Como consecuencia, la imagen cotidiana, impuesta desde varios frentes, deja pocos espacios al ejercicio reflexivo de la imaginación. Aunado a ello, la imposibilidad de una lectura razonada nos convierte en víctimas aletargadas de la imagen “light”, pseudocientífica o subliminal, y de la información (o desinformación) que, en consecuencia, domina fácilmente sobre el discurso escolar (Trápaga, 1997).

En este contexto de imágenes omnipresentes pero siempre cambiantes, resulta pertinente preguntarse sobre el papel que juega (y que podría jugar) la imagen en el proceso enseñanza-aprendizaje en general, y de la física en particular, así la relación que guarda con las competencias (habilidades, conocimientos y actitudes) que se supone deben promoverse entre los alumnos de nivel medio superior.

Las recomendaciones de algunos Organismos Internacionales como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), el Banco Mundial y la UNESCO (Bonafant, 2009), han apuntado hacia la llamada “Educación para la vida”. Las Competencias han sido aceptadas como eje dentro de las políticas educativas nacionales, y aunque pueden enmascarar un doble propósito (el bien social vs el bien para los grupos de poder), los planes y programas de estudio en la mayoría de los subsistemas de nivel medio superior se han ido delineando hacia el cumplimiento de las políticas de dichos Organismos, por lo que es menester establecer aquellos puntos en los que los alumnos podrían ser efectivamente beneficiados por el desarrollo de dichas competencias.

Entre los puntos establecidos por la OCDE (OCDE, 1997) dirigidos hacia los países integrantes de dicho organismo y en particular hacia aquellos con economías emergentes, se encuentra el priorizar durante el proceso de enseñanza-aprendizaje el uso de las nuevas Tecnologías de Información y Comunicación (TIC). Esa recomendación fue adoptada en México por la Secretaría de Educación Pública (SEP), en la Reforma para la Escuela Secundaria (RES) en 2006, en la Reforma Integral de la Educación Media Superior (RIEMS) en 2009 y posteriormente, dentro del marco de la Reforma Integral de la Educación Básica (RIEB). Esta última reforma está dirigida a los tres primeros niveles educativos (Preescolar, Primaria y Secundaria), pero es menester considerarla al referirse al Nivel Medio Superior debido a que éste se “nutre” de alumnos egresados del Nivel Básico.

Uno de los ejes centrales de la Reforma planteada está en el desarrollo de competencias, que quedan definidas como:

*“**competencia** es la capacidad de responder a diferentes situaciones, e implica un saber hacer (habilidades) con saber (conocimiento), así como la valoración de las consecuencias de ese hacer (valores y actitudes).”* (Secretaría de Educación Pública, 2011, pág. 22)

La OCDE, a través del Marco para la evaluación PISA 2006, asocia al concepto de “Competencia Científica” aplicada a un individuo, los siguientes aspectos:

*“ El conocimiento científico y el uso que se hace de ese conocimiento para identificar cuestiones, adquirir nuevos conocimientos, explicar fenómenos científicos y extraer conclusiones basadas en pruebas sobre temas relacionados con las ciencias;*

- *La comprensión de los rasgos característicos de la ciencia, entendida como una forma del conocimiento y la investigación humanos;*

- *La conciencia de las formas en que la ciencia y la tecnología moldean nuestro entorno material, intelectual y cultural;*

- *La disposición a implicarse en asuntos relacionados con la ciencia y a comprometerse con las ideas de la ciencia como un ciudadano reflexivo.”* (OCDE, 2006)

Otro grupo de competencias son las denominadas *“Competencias para el Aprendizaje Permanente”*, cuya consecución requiere el desarrollo de distintas habilidades, entre las que se encuentran las *“Habilidades Digitales”* (Secretaría de Educación Pública, 2011, pág. 30). Las Habilidades Digitales son aquellas directamente relacionadas con el uso de las TICs, tanto en el ámbito del saber, como en el del saber hacer (Secretaría de Educación Pública, 2011, pág. 57).

Según la SEP las habilidades digitales que deben ser desarrolladas, tanto por alumnos como por docentes, pueden relacionarse con el siguiente conjunto de indicadores de desempeño:

- Utilizar herramientas y recursos digitales para apoyar la comprensión de conocimientos y conceptos.
- Aplicar conceptos adquiridos en la generación de nuevas ideas, productos y procesos, utilizando las TIC.
- Utilizar modelos y simulaciones para explorar algunos temas.

Aunque los indicadores de desempeño mencionados están dirigidos hacia los docentes de Nivel Básico, resultan pertinentes también al considerar las habilidades digitales deseables para el grupo de alumnos de Educación Media Superior, al considerar la Educación como un proceso continuo e integral de los diferentes niveles educativos por los que los sujetos transitan.

El uso de las TIC durante el proceso de enseñanza aprendizaje de la ciencia es importante, entre otras cosas, por su potencialidad para ordenar, transformar, representar y comunicar información. Esto también es aplicable al caso de la Física pero hay considerar que cuando las TIC se utilizan con el fin de incidir favorablemente en el aprendizaje de la Física, éste no queda asegurado de manera inmediata ni directa por la sola presencia de las Nuevas Tecnologías en el aula (Otero, Greca, & Lang da Silveira, 2003). Las TIC deben verse como una herramienta de apoyo cuyo uso adecuado puede facilitar o potenciar el logro de aquel objetivo, pero deben

desarrollarse estrategias didácticas y materiales educativos que relacionan las TIC con las competencias científicas en general y en particular con las competencias asociadas con la física escolar. Así mismo, se requiere detectar y catalogar tanto los beneficios como las dificultades que el uso de las TIC como herramientas de aprendizaje conlleva.

Entre las características de las TIC se encuentra el uso que en ellas se hace de las imágenes (estáticas y dinámicas) como medio para representar y comunicar información y conocimientos. La mera transmisión no es el objetivo de los medios, sino la asimilación por parte de los sujetos receptores. Ello implica que los destinatarios deben ser capaces de recobrar la información e interpretarla relacionando texto e imágenes con sus conocimientos e ideas previas y con el contexto en la que aquella se presenta. Sin embargo no es claro qué porcentaje, ni en qué grado la información es recobrada e interpretada en el mismo sentido con el que fue concebida (la intención del emisor) o qué tanto el sentido inicial es modificado. Esto resulta especialmente importante cuando se involucra la imagen en el aprendizaje de la física, donde (a pesar de posturas alternativas) se espera que la interpretación deseada tienda a ser más bien unívoca (Neumann Coto, 2011), tomando como referente la intención del docente, como representante de la comunidad científica.

Entre las investigaciones realizadas sobre el uso de la imagen existen resultados contradictorios o parciales respecto al efecto que tiene en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física. Algunos investigadores señalan un escaso valor de la imagen como elemento para incrementar el aprendizaje significativo de conceptos en física (Otero, Greca, & Lang da Silveira, 2003) y plantean que su utilidad principal se centra en la motivación. Por el contrario, otras investigaciones parecen apoyar la idea de que, si bien el uso de la imagen no es “la solución” a los problemas educativos en el campo de la física, sí puede aportar elementos valiosos para un aprendizaje dirigido hacia el desarrollo de competencias (Campos & González, 1994)<sup>i</sup>, donde las prácticas no fomenten un aprendizaje enciclopédico de los contenidos disciplinares.

La justificación de una educación visual en física se establece en parte por la necesidad de lograr una alfabetización científica para todos, planteada desde la perspectiva del llamado Movimiento Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS), donde se establece una contraposición entre ésta y la perspectiva de una educación científica propedéutica, que se relaciona con una educación catalogada como elitista (Vázquez Alonso, AcevedoDíaz, & Manassero Mas, 2005). La “alfabetización científica y tecnológica” resultaría componente de un andamiaje para lograr una sociedad democrática más igualitaria, compuesta por personas aptas para comprender el entorno tecno-científico que las rodea y capaces para integrarse al mercado laboral cada vez más tecnificado (Acevedo Diaz, Vázquez Alonso, & Manassero Mas, 2003).

El término “alfabetización científica y tecnológica” no tiene una definición única, y parece no haber acuerdos entre sus posibilidades fácticas, pero podría hacerse coincidir en esencia con las propuestas de algunos organismos internacionales, como

en el caso de la OCDE que a través del Marco de evaluación Proyecto Internacional para la Producción de indicadores de Rendimiento de los Alumnos, PISA 2006 establece:

*“...La comprensión de las ciencias y la tecnología resulta crucial para la preparación para la vida de los jóvenes en la sociedad contemporánea. Mediante ella, el individuo puede participar plenamente en una sociedad en la que las ciencias y la tecnología desempeñan un papel fundamental...”* (OCDE, 2006)

En ese sentido la Alfabetización científica podría definirse como el conjunto de competencias necesarias para que el individuo participe plenamente en una sociedad tecno-científica.

Según Kemp citado por Sabariego et al. (Sabariego, 2006), el concepto de alfabetización científica, agrupa tres dimensiones:

-*Conceptual (compresión y conocimientos necesarios)*. Sus elementos más citados son: conceptos de ciencia y relaciones entre ciencia y sociedad.

-*Procedimental (procedimientos, procesos, habilidades y capacidades)*. Los rasgos que mencionan con más frecuencia son: obtención y uso de la información científica, aplicación de la ciencia en la vida cotidiana, utilización de la ciencia al público de manera comprensible.

-*Afectiva (emociones, actitudes, valores y disposición ante la alfabetización científica)*. Los elementos más repetidos son: aprecio a la ciencia e interés por la ciencia.

Es sobre estas dimensiones que debería trabajarse para lograr una población alfabetizada científicamente por lo que se propone entender por **alfabetización visual en física**:

*“el conjunto de competencias necesarias para que el individuo participe activa y críticamente del lenguaje visual y de los medios visuales de comunicación, usuales en una sociedad tecno-científica, estableciendo vínculos entre aquellos y las dimensiones conceptual, procedimental y afectiva propias de la física.”* (Neumann & Segarra, 2012, pág. 331)

La alfabetización visual en física, además de constituir un fin en sí misma, establecería antecedentes cognitivos para el desarrollo de la especialización del lenguaje y metodología visuales propios del enfoque propedéutico de la enseñanza de la física (presente en los cursos terminales de la Educación Media), dirigidos al sector de la población estudiantil cuyos intereses se dirigen hacia carreras científicas o del área de ingeniería.

Es pertinente mencionar que uno de los beneficios asociados a la alfabetización visual es que *“...enriquece a los ciudadanos en su repertorio de habilidades cognitivas y en el acceso de herramientas poderosas para el desarrollo del pensamiento creativo...”* (Gutierrez-Vargas, J., & Guerrero-Andrade, 2004)

Por tanto se plantea la necesidad de potenciar el uso de la imagen en varias aristas, entre las que se encuentran; su papel como herramienta didáctica disciplinaria, su reconocimiento como medio de representación y comunicación dentro de la Ciencia y su asimilación como elemento clave para el acceso a la información en una sociedad del conocimiento. En este contexto, la alfabetización visual, que incluye al pensamiento visual, al aprendizaje visual y a la comunicación visual, se plantea como una necesidad, que debería establecerse como uno de los ejes de la educación actual (Gutierrez Vargas, Camargo López, & Guerrero Andrade, 2004).

Dentro de la interdisciplina, los aportes relacionados con la alfabetización visual, planteada desde y para la Física, parecerían quedar bien justificados. Por ejemplo, uno de los objetivos específicos de la alfabetización visual en Física podría ser el que los estudiantes aprendan a utilizar las imágenes para el pensamiento crítico, como distinguir las imágenes extraídas de la realidad física de aquellas que no se corresponden con ella (López Pérez, 2008) o bien que la utilicen como un medio para la metacognición.

En el estado actual, una propuesta sobre alfabetización visual en física debe involucrar varios campos disciplinares además de los relacionados directamente con la enseñanza de la física, e “importar” de aquellos los conceptos en los que están más avanzados; en particular, de las propuestas sobre alfabetización científica realizadas por los grupos de CTS (de las que se desprende una visión más holística del papel de la ciencia), las corrientes educativas basadas en las TICs (que establecen la incorporación de las nuevas tecnologías a las estrategias didácticas) y las experiencias de los grupos dedicados a la Comunicación y los Medios audiovisuales.

### **1.1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:**

La aparente contradicción que se da entre tener un medio ambiente pletórico de imágenes y una juventud inmersa en él que, sin embargo, carece de una alfabetización visual adecuada, ha sido descrita por algunos investigadores de diversas áreas, principalmente desde la comunicación, entre los que se encuentra el equipo interdisciplinario *Hedabideak, Gizartea eta Hezkuntza* del País Vasco, quienes a partir de una investigación con jóvenes entre 14-18 años realizada durante el sexenio 2004-2009 plantearon que:

*“El desarrollo y multiplicación de las nuevas tecnologías propicia que los adolescentes dediquen al consumo de medios en general, en particular a los electrónicos, una cantidad creciente de su tiempo. Sin embargo, este*



*incremento no ha traído consigo un aumento de la alfabetización audiovisual de esta generación mediática” (Basterretxea Polo, Jiménez, Zarandona, Andrieu, & Ramírez de la Piscina, 2010)*

Y añaden:

*“...la mirada de la juventud vasca a los medios carece, en la mayoría de los casos, de certeza interpretativa audiovisual. La juventud vasca se acerca a los media a través de una especie de cristal traslúcido, que permite apreciar ciertas siluetas borrosas tras él, pero no los detalles y matices de los objetos que están al otro lado de la ventana”. (Basterretxea Polo, Jiménez, Zarandona, Andrieu, & Ramírez de la Piscina, 2010)*

La analogía con el “cristal traslúcido” puede utilizarse también para describir lo que ocurre durante el proceso de observación que realizan gran parte de los alumnos cuando se les presentan fenómenos físicos (observación de lo que ocurre en un experimento, lectura de una imagen o un video que representen la situación o fenómeno físico, etc.), de los que no logran “ver” los detalles, ni plantear preguntas sobre lo observado. Esto tiene también consecuencias cuando se requieren representaciones más “abstractas”, como en el caso de que se les pida establecer y representar una relación entre variables.

Según Ferrandini y Tedesco:

*“Tradicionalmente, se le otorgaba a la imagen y a la comunicación audiovisual un carácter secundario en el aula, y eso trajo como consecuencia una falta de preparación para interpretar los múltiples mensajes audiovisuales del entorno...” (Ferrandini & Tedesco, 1997).*

En la actualidad mexicana, en la mayor parte de los cursos de física de Educación Media Superior (EMS), la imagen sigue ocupando un papel secundario y las consecuencias establecidas en la afirmación de Ferrandini, hecha hace más de una década, continúan siendo válidas. Por ejemplo, dentro de los cursos a veces se utilizan imágenes para ilustrar el contexto problemático (por ejemplo esquemas de masas y resortes), como mecanismo de representación conceptual (por ejemplo en los métodos gráficos para representar vectores) o como representaciones de objetos más abstractos (por ejemplo gráficas funciones) sin embargo, como el uso de la imagen en física no constituye un fin en sí mismo, no se considera su evaluación detallada ni se plantea el desarrollo de las competencias asociadas como un objetivo del proceso enseñanza-aprendizaje.

Quizás por una combinación de creencias alrededor de la imagen, que abarcan desde considerarlas “evidentes” o de “poca importancia”, es que en muchos casos se da por sentado que no es necesario enseñar a leerlas, y en consecuencia no se les dedica el tiempo ni los recursos necesarios.

Aceptando la relevancia de la imagen dentro de la sociedad tecno-científica, donde niveles cada vez más complejos de lectura de imágenes son requeridos no sólo por los medios masivos de comunicación, sino por la estructura laboral y profesional, donde no puede caerse en el error de pensar que la lectura de la imagen es “fácil y evidente” sino que se requiere de un desarrollo cognitivo específico, y donde la alfabetización visual traerá también efectos positivos sobre el sistema cognitivo del individuo, parece pertinente estudiar los caminos y las dificultades que se enfrentan para lograr esa clase de alfabetización.

#### **1.1.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

Las siguientes preguntas guiaron la investigación.

- ¿Qué dificultades presentan los estudiantes al ser sometidos a actividades que involucran la lectoescritura de imágenes para representar conceptos y fenómenos físicos?
- ¿Cómo evaluar y clasificar las dificultades de lectoescritura de la imagen que presentan los alumnos en el ámbito de la física?

En forma semejante a lo que ocurre con el uso de las TIC como auxiliares para el aprendizaje significativo (Pontes, 2005), para contestar estas preguntas se crearon y aplicaron materiales y secuencia didácticas distintas a las que tradicionalmente se utilizan, donde se implicó una interacción más activa alumno-imagen con el doble objetivo de coadyuvar a la construcción conceptual en física y de detectar las dificultades emergentes de dicha interacción.

#### **1.1.5. OBJETIVOS:**

Se plantearon los siguientes objetivos:

- Crear un modelo para explicar el papel de la imagen durante el proceso enseñanza-aprendizaje de conceptos, procesos y fenómenos físicos.
- Detectar, analizar y clasificar algunas de las dificultades de lectoescritura de la imagen que presentan los alumnos de un grupo de física introductoria del Colegio de Ciencias y Humanidades, cuando la imagen externa se utiliza para la representación y para la comunicación de conceptos, procesos y fenómenos físicos.
- Mostrar la necesidad de considerar la alfabetización visual en física como un elemento integral de los cursos de física de educación media donde se pretende el aprendizaje conceptual significativo.

- Se establece como sub-objetivo, la creación y aplicación de actividades didácticas que funcionen como instrumentos para la obtención de información y datos.

### **1.1.6. SUPUESTOS**

Los siguientes supuestos fueron adoptados durante la investigación:

- A partir de actividades didácticas basadas en la lectoescritura de la imagen en torno a fenómenos, conceptos y procedimientos de la física emergerán dificultades que permiten corroborar la necesidad de una alfabetización visual.
- La imagen sirve para representar y comunicar elementos conceptuales relacionados con las variables, procesos y fenómenos físicos.
- La implementación de instrumentos de naturaleza dual (didáctico-investigativa) permite detectar las dificultades asociadas con el uso de la imagen durante el proceso enseñanza-aprendizaje de la física.
- Existe una relación entre las dificultades emergentes de la lectoescritura de la imagen y la escasa alfabetización visual en física.
- Los modelos teóricos psicopedagógicos y las teorías de la comunicación pueden servir como base para explicar algunas de las dificultades emergentes del uso de la imagen durante el proceso enseñanza aprendizaje de la física.

## **2. MARCO TEÓRICO Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA.**

### **2.1. JUSTIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEFINICIONES Y CONCEPTOS PRELIMINARES**

#### **2.1.1. Justificación de la estructura**

El trabajo que se presenta puede dividirse en dos aspectos complementarios; el desarrollo del modelo teórico para explicar el papel de la imagen en el proceso enseñanza-aprendizaje de la física y la investigación experimental sobre las dificultades que surgen del uso de la imagen en ese proceso.

La manera de abordar el problema desde la perspectiva teórica consiste en establecer un modelo explicativo sobre el uso de la imagen durante el proceso enseñanza-aprendizaje de la física. Se propone fundamentar el modelo relacionando algunos de los elementos teóricos de las corrientes constructivistas (Aprendizaje significativo (Ausubel, 1981), Modelos Mentales de Johnson-Laird (Johnson-Laird, 1996), Campos Conceptuales (Vergnaud, 1990), etc.) y algunos aspectos de las teorías de la comunicación (Relevancia (Wilson & Sperber, 2004), Transposición Didáctica (Chevallard, 1997)), con las dificultades que emergen cuando la imagen se utiliza como representación y como elemento del proceso de comunicación de conceptos y fenómenos físicos. Además se han considerado los trabajos de diversos investigadores latinoamericanos que han seguido la escuela de Vergnaud y de algunos investigadores (principalmente europeos y estadounidenses) que han enfocado su estudio en las representaciones múltiples.

La investigación experimental retoma las bases del modelo teórico como marco teórico, por lo que no se ha hecho una distinción entre ambos.

Tanto en el aspecto teórico como en el experimental se han considerado distintas perspectivas:

- La perspectiva psicopedagógica; a partir de la cual se establecen los elementos teóricos para enmarcar la propuesta desde la perspectiva de la Psicología Cognitiva.
- La perspectiva sociológica; desde donde se contextualiza y justifica la propuesta. Aquí se incluye también la perspectiva de la comunicación considerando que ésta área de estudio nace de las Ciencias Sociales.
- La perspectiva disciplinaria; que permite establecer los referentes conceptuales y las competencias asociadas con la Física Escolar del nivel medio superior.

Estas perspectivas originan una descripción en dos “escalas” o “niveles de observación”. En el nivel con mayor escala el proceso enseñanza-aprendizaje es visto como un proceso de comunicación, donde el individuo se ve desde “afuera”. En

una escala menor, la observación se dirige hacia el interior del individuo, a las actividades de la mente y a su relación con el aprendizaje.

En el modelo ambas escalas se consideran complementarias y necesarias poder clasificar y en su caso explicar algunas de las dificultades asociadas con el uso de la imagen durante el proceso enseñanza-aprendizaje, así como para el desarrollo de las actividades para su detección.

De manera general se requiere que el modelo sea explicativo y consistente, aunque no se espera que sea completo.

Dado que muchos de los términos utilizados a lo largo de este trabajo son polisémicos, se comienza por plantear una sección con las definiciones y conceptos preliminares, cuya intención es unificar significados y dar claridad al discurso.

### **2.1.2. Definiciones y conceptos básicos**

*Definiciones de representación, imagen, representación interna, representación externa, imagen interna (imagen inmaterial), imagen externa (imagen material)*

Un **signo** es algo que está por alguna otra cosa y que tiene algún significado para alguien.

Según Beuchot (Beuchot, 2007, pág. 17), Pierce planteó “el fenómeno del **signo** como una relación de un signo o representamen con un objeto (significado) y un interpretante (concepto, acción o hábito) con la que el signo es interpretado”.

El **representamen** es el signo que sustituye al objeto, el **objeto** aquello que ha sido sustituido y el **interpretante** la idea que transmite acerca de esa cosa. Por otro lado el **intérprete** es la persona que da significado al signo.

El término **representación** no tiene un sólo significado, Greca y Moreira plantean que:

*“Una **representación** puede ser definida como cualquier notación, **signo** o conjunto de símbolos que «representan» algo para nosotros (Eisenck y Keane, 1991, citado por Greca y Moreira). Está en lugar de alguna cosa, en su ausencia; habitualmente es un aspecto del mundo externo o de nuestra imaginación.” (Greca & Moreira, 1998, pág. 298)*

Para Kohl, las **representaciones (en física)** son “las diferentes vías en que uno puede comunicar conceptos y situaciones físicas” (Kohl, 2007, pág. 1).

Estas definiciones pueden considerarse complementarias para los objetivos de la tesis pues la definición de Kohl se hace explícito el papel de la comunicación, mientras la definición de Moreira explicita su papel como signo. Aunque las definiciones a primera vista parecen muy similares, la redacción puede marcar una diferencia entre comunicación y representación, que son consideradas cualidades diferentes.

Desde la perspectiva de la comunicación visual Aparici et al. (Aparici, Fernández Baena, García Mantilla, & Osuna Acevedo, 2006, pág. 31) afirman que “una **imagen** es una representación de algo que no está presente.”

Beuchot (Beuchot, 2007, pág. 18), desde la hermenéutica analógica, señala que pueden diferenciarse dos tipos de signos; *signos arbitrarios* y *signos naturales*. Menciona que los signos completamente arbitrarios (dependientes de la cultura) son nombrados por Peirce “**símbolos**”, mientras que los “**signos no simbólicos**” a su vez son de dos clases denominadas por Peirce **íconos** e **índices**. El **ícono** de Peirce coincide con el **símbolo** de la escuela europea; se basa en la semejanza o analogía y puede dividirse en tres clases: **imagen**, diagrama y metáfora. (Beuchot, 2007, pág. 18), siendo las imágenes las que presentan un mayor **nivel de iconicidad** o **analogía**.

Peirce citado por Oostra (Oostra, 2003) establece la diferencia entre las tres clases de ícono:

*“De manera aproximada, los hipóíconos pueden dividirse según el modo de Primeridad del cual participan. Aquellos que participan de cualidades simples, o Primeras Primeridades, son imágenes; aquellos que representan las relaciones —mayormente diádicas, o consideradas diádicas— de las partes de una cosa por relaciones análogas en sus propias partes, son diagramas; aquellas que representan el carácter representativo de un signo (representamen) representando un paralelismo en algo diferente, son metáforas.”* (Oostra, 2003, pág. 19)

Otero (Otero, 1999), desde la Psicología Cognitiva define como **imagen** aquellas “*representaciones analógicas con una similitud estructural con aquello que representan y no meras experiencias subjetivas, cuyo sustrato corresponde a un código abstracto e inaccesible a la conciencia.*”

En esta definición, donde se resalta la *similitud estructural*, pueden incluirse los tres tipos de íconos planteados por Peirce.

En adelante adoptaremos la propuesta de Otero al referirnos al término imagen. En caso de ambigüedad se explicitará que el término se refiere al de Peirce.

Las representaciones pueden dividirse en representaciones internas y representaciones externas. Lombardi et al. (Lombardi, Caballero, & Moreira, 2009, pág. 155), definen **representaciones internas** o **representaciones mentales** como “*los sistemas internos de información que utilizamos en los procesos de percepción, lenguaje, razonamiento, resolución de problemas y otras actividades cognitivas del sujeto*”. Complementariamente como **representaciones externas** se consideran aquellas directamente asequibles para otros.

En este trabajo la **imagen externa** será considerada como una forma de representación externa mientras que la **imagen interna** se considerará una representación interna.

Una manera alterna de pensar las representaciones internas y las representaciones externas es distinguirlas como **imágenes materiales e imágenes imaginarias** (Zamora Águila, 2007, págs. 186-193), teniendo las primeras un soporte “material”.

Palmer (1977) citado por Ainsworth (Ainsworth, 2006) establece que una representación externa consiste de:

- El mundo representado
- El mundo representante
- Los aspectos del mundo representado que están siendo representados
- Los aspectos del mundo representante que están sirviendo para modelar
- La correspondencia entre ambos mundos

Otro término encontrado recientemente en las investigaciones relacionadas con el uso de la imagen desde una perspectiva cognitiva es el de **Visualización** que, según ejemplifica Torregrosa, puede tener diferentes significados:

*“Según Hershkowitz (1990) «la visualización, generalmente, se refiere a la habilidad de representar, transformar, generar, comunicar, documentar y reflexionar sobre la información visual». Para Zimmermann y Cunningham (1991) «Visualización es el proceso de formar imágenes (mentalmente, con lápiz y papel o con la ayuda de tecnología) y usar tales imágenes para el descubrimiento y el conocimiento matemático». Los términos utilizados para definir la visualización se han concretado, empezando a entenderla como acto por el cual un individuo establece una fuerte conexión entre una construcción interna y algo cuyo acceso es adquirido a través de los sentidos (Zazkis, Dubinsky y Dautermann, 1996). Con relación a este proceso de conexión, Hershkowitz, Parzys y Van Dermolen (1996) indican: «se entiende visualización como la transferencia de objetos, conceptos, fenómenos, procesos y sus representaciones a algún tipo de representación visual o viceversa. Esto incluye también la transferencia de un tipo de representación visual a otra». Esta transferencia es la que consideramos relevante para describir los distintos procesos cognitivos derivados de la visualización”. (Torregrosa Gironés & Quesada Vilella, 2010, pág. 328)*

Estas definiciones tienen en común el resaltar las tareas cognitivas que el sujeto realiza con o sobre las imágenes.

Se entiende por **Representaciones Múltiples (RM)** el uso de dos o más representaciones con un sentido u objetivo representacional compartido.

### 2.1.3. Tipos de imágenes presentes en el área de la física.

Comparando con el marco teórico de PISA 2006 (OCDE, 2006), las representaciones externas incluyen los denominados “Textos discontinuos”, a saber:

- Cuadros y gráficos
- Tablas
- Diagramas
- Mapas
- Formularios
- Hojas informáticas

PISA no establece explícitamente dentro de ese rubro las categorías para fotografía, video, dibujos ni esquemas.

Cada una de las categorías anteriores establece un formato de representación.

No todos los formatos se pueden considerar íconos en el sentido adoptado por Peirce pues aunque se encuentran imágenes (de Peirce) y diagramas (de Peirce), es difícil establecer las tablas, los formularios o las hojas informáticas en cualquiera de esas categorías. Por ello no serán considerados como imágenes dentro de esta tesis, aunque sí se consideran representaciones visuales externas.

Diversas maneras para clasificar imágenes han sido propuesta en el ámbito de la Comunicación Visual. Según Aparici et al. (Aparici, Fernández Baena, García Mantilla, & Osuna Acevedo, 2006, págs. 202-210) las imágenes pueden caracterizarse proponiendo las siguientes categorías:

- *Iconicidad-abstracción*: Grado de aproximación de una imagen a su referente real; Una imagen es más icónica que otra en la medida que tenga más propiedades comunes con el esquema perceptivo del propio objeto.
- *Simplicidad-complejidad*: Se refiere al grado de atención y el tiempo de dedicación para su análisis: Una imagen compleja no precisa tener muchos elementos y una imagen simple no necesariamente tiene pocos elementos.
- *Monosemia-polisemia*: Se refiere la unicidad o equivocidad, es decir a la posibilidad de asociar a ella distintos sentidos.
- *Denotación-connotación*: La denotación es lo que literalmente muestra la imagen; en una lectura denotativa de la imagen se enumeran y describen los elementos que la conforman. La connotación está ligada al nivel subjetivo de lectura; no es observable directamente y tampoco es igual para todas las personas.

Como complemento pueden añadirse las siguientes dimensiones:

- *Fija-animada*: Establece el cambio relativo de los elementos que conforman la imagen a lo largo del tiempo.



- *Dimensión espacial*: Se refiere a la dimensión espacial que puede ser percibida a partir de la imagen. Generalmente se consideran imágenes bidimensionales y tridimensionales.
- *Representación única-representaciones múltiples*: Se refiere a los diferentes tipos de codificación de la información que pueden aparecer en una misma imagen. Un ejemplo es un diagrama que se acompaña por etiquetas explicativas.

Puede considerarse que mientras la clasificación de PISA se basa en el “tipo de codificación”, la clasificación proveniente de la comunicación visual implica más directamente la relación entre imagen y sujeto.

Las clasificaciones mencionadas serán relevantes al tratar de describir las dificultades que emergen del uso de la imagen durante el proceso enseñanza-aprendizaje en física.

## **2.2. DOS FUNCIONES DE LA IMAGEN DURANTE EL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE; LA COMUNICACIÓN Y LA CONSTRUCCIÓN INTELECTUAL**

### **2.2.1.1. Usos e importancia de las representaciones visuales en el proceso enseñanza-aprendizaje de la física**

Según Perales y Romero:

*“Las imágenes didácticas tienen como fin la transmisión de conocimientos y utilizan como estrategias composiciones gráfico-visuales que van desde imágenes puramente figurativas hasta esquematizaciones basadas en la abstracción que tratan de representar conceptos y fenómenos que no tienen una naturaleza visual” (Peráles López & Romero Barriga, 2005, pág. 129)*

La importancia de las representaciones visuales durante el proceso enseñanza-aprendizaje de la física se puede ejemplificar con los siguientes párrafos:

- *“el discurso científico se construye a partir de diferentes sistemas semióticos: lenguaje natural, lenguaje gráfico, lenguaje matemático, lenguaje gestual. Esta característica determina la necesidad de hacer explícitas las reglas que nos permiten conectar la “cosa” o “idea” con los “signos” con las que la sustituimos.” (Lombardi, Caballero, & Moreira, 2009, pág. 149)*
- *“Una teoría científica es, en estos términos, un sistema «representacional», externamente representado por su formulación matemática e internamente, de alguna manera en la cabeza de quien la comprende. Para la enseñanza de la física resulta interesante preguntarse cuáles son las representaciones internas que los alumnos tienen –tanto las que corresponden a los conceptos «intuitivos» como las que construyen a partir de los conceptos enseñados en el aula– para poder entender cuál es el proceso de*

*construcción y el cambio de esas representaciones.*” (Greca & Moreira, 1998, pág. 298)

- *“...una buena parte de aprender física consiste en aprender cómo moverse hacia adelante y hacia atrás entre las diferentes representaciones del conocimiento.”* (Knight, 2008, pág. 31)

Considerando lo anterior, las representaciones, las capacidades del sujeto para representar y para interpretar representaciones hechas por otros están en el corazón de la Ciencia en general y de la Física en particular.

Durante el proceso enseñanza-aprendizaje esas representaciones (incluidas las imágenes) y las capacidades representacionales asociadas, deben ser consideradas como un medio tanto como un fin.

En las últimas décadas se han realizado algunos estudios relacionados con el uso de la imagen como apoyo durante el proceso de enseñanza/aprendizaje. Perales y Jiménez (Perales & Jiménez, 2002) propusieron una clasificación del uso que se da a las imágenes en los libros de texto, Aguilar et al. (Aguilar, Maturano, & Nuñez, 2007) la utilizaron como una herramienta para la detección de ideas alternativas. Gadgil et al. (Gadgil, Nokes-Malach, & Chi, 2012), mostraron una aplicación de la imagen como instrumento para el cambio conceptual, mientras que Gilbert (Gilbert, Reiner, & Nakhleh, 2008) encabezó una compilación de trabajos recientes sobre las distintas aplicaciones de la Visualización, subdividida a su vez en tres grandes campos: La naturaleza y desarrollo de la visualización, el diseño de unidades y cursos enfocados en la visualización y el aprendizaje con representaciones externas .

Entre las investigaciones más recientes, realizadas dentro del aula, destacan tres tesis doctorales: “Imágenes y Enseñanza de la Física: Una visión Cognitiva”, de Rita Otero (Otero R. , 2002); “Aproximaciones a una comprensión de cómo los estudiantes usan las representaciones en las solución de problemas físicos” de Patrick Brian Kohl (Kohl P. B., 2007) y “La comprensión de las representaciones gráficas cartesianas presentes en los libros de texto de ciencias experimentales, sus características y el uso que se hace de ellas en el aula” de José J. García. (García, 2005). Otero se enfocó en *“cómo las imágenes externas facilitan, dificultan o inhiben la construcción de representaciones mentales adecuadas para comprender, explicar y predecir en Física, particularmente en el tema de Oscilaciones”* (Otero M. R., 2002, pág. 1), Kohl centró la atención en *“comprender qué factores influyen en estudiantes de física introductoria para lograr o fallar en el uso de representaciones (externas) en física* (Kohl P. B., 2007, pág. iii), mientras que García *“centra su interés en los recursos simbólicos que puede utilizar el estudiante y, en particular, en los sistemas de representación externa que entran en interacción con él”* (García, 2005, pág. 3), aunque su trabajo no se dirige directamente a la enseñanza aprendizaje de la física sino que está dirigido al estudio de las representaciones gráficas cartesianas.

En su tesis doctoral, realizada con alumnos de nivel universitario introductorio, Kohl (Kohl, 2007, pág. iii) establece que:

- 1) Las representaciones juegan un papel central en el desempeño de los estudiantes.
- 2) El uso constante de representaciones múltiples durante la solución de problemas en los cursos, pueden tener un impacto significativo en las habilidades de los alumnos.
- 3) En los cursos introductorios, las habilidades meta-representacionales estudiadas están pobremente desarrolladas en los alumnos.
- 4) Las principales diferencias que se presentan entre expertos y novatos al resolver problemas no están en las representaciones que usan, sino en la manera de utilizarlas.

Según Kohl, una de las características de la ciencia es el uso de representaciones y las habilidades de los científicos incluyen integrarlas, hacer traducciones entre ellas y decidir en qué circunstancias son útiles.

Para abordar el problema en el caso de las representaciones múltiples Ainsworth (Ainsworth, 2008, pág. 196) propuso una taxonomía funcional de las representaciones múltiples asociada con el aprendizaje y la comunicación.

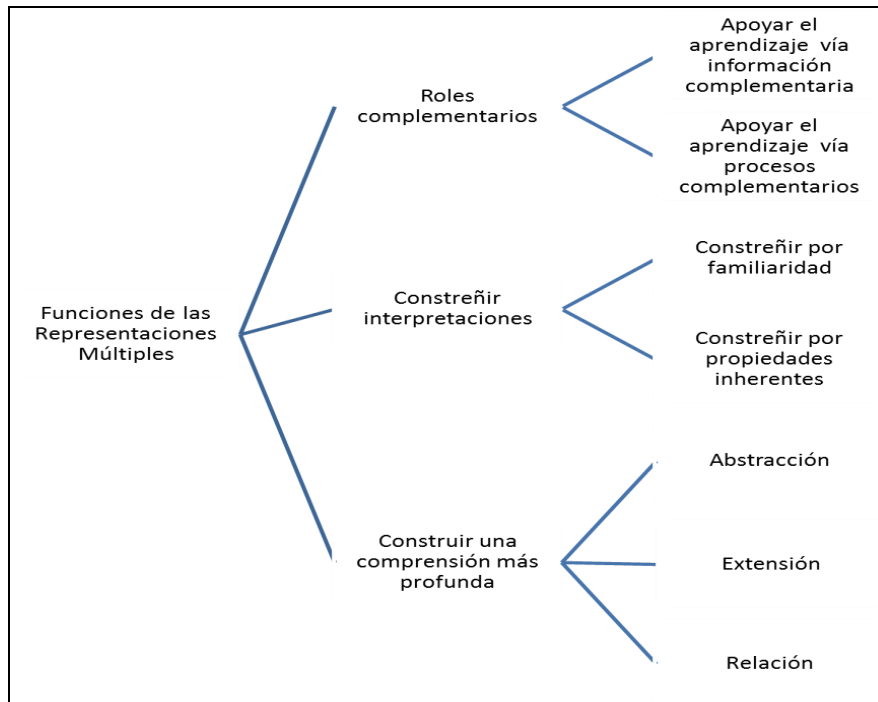


Ilustración 1: Taxonomía funcional de las Representaciones Múltiples propuesta por Ainsworth (Ainsworth, 2008, 196)

La taxonomía propuesta por Ainsworth (Ainsworth, 2008, págs. 195-200) considera tres aspectos principales en los que las representaciones múltiples pueden ser utilizadas como herramienta de apoyo para el aprendizaje: para complementar, para constreñir interpretaciones y para construir una comprensión más profunda.

Los **roles complementarios** se subdividen en dos categorías; dar información complementaria y permitir procesos alternativos para adquirir la información, lo que se basa en la creencia de que para diferentes representaciones también difieren los requisitos para *computarlas*<sup>1</sup>.

La **constricción** de interpretaciones ocurre de dos formas: constricción por familiaridad y constricción por propiedades inherentes. La constricción por familiaridad aprovecha representaciones que le son familiares al lector para delimitar la interpretación de una nueva representación. La constricción por propiedades inherentes considera que representaciones descriptivas (verbales) y representaciones icónicas se caracterizan por propiedades que las hacen más o menos útiles en determinadas situaciones, debiéndose considerar su complementariedad en algunos casos.

La **construcción de una comprensión más profunda**, ocurre, por ejemplo, cuando los alumnos deben establecer los aspectos invariantes en diferentes representaciones de un mismo objeto o fenómeno y diferenciarlas de los aspectos particulares en cada representación individual.

Ainsworth propone dividir la construcción de una comprensión más profunda a partir del uso de RM en tres aspectos:

- *“La Abstracción es el proceso por el cual los aprendices crean entidades mentales que sirven como la base para nuevos procedimientos y conceptos en un nivel más alto de organización. Los aprendices pueden construir referencias a través de representaciones que exponen la estructura subyacente en el dominio representado...”*
- *“La Extensión puede ser considerada como la vía para transferir conocimientos que el alumno tiene desde una representación conocida hacia una representación desconocida, pero sin reorganizar fundamentalmente la naturaleza de dicho conocimiento”*
- *“La Comprensión Relacional es el proceso mediante el cual dos representaciones son asociadas entre sí, nuevamente sin una reorganización del conocimiento.”* (Ainsworth, 2008, pág. 199)

No obstante el uso favorable de las RM requiere de ser cuidadosos (Ainsworth, 2008, pág. 206). Según Knight (Knight, 2008, pág. 31) el uso eficaz de representaciones involucra habilidades específicas cuyo desarrollo implica *“seguir procedimientos que los maestros deben enseñar y los alumnos deben aprender”*. No obstante, durante la enseñanza se debe cuidar de no caer en el error de pensar que los aprendices adquirirán las competencias de manera inmediata o sólo imitando lo que hace el

---

<sup>1</sup> El término proviene de la teoría computacional que encuentra una analogía entre el funcionamiento del cerebro y los procesadores usados en la inteligencia artificial.

profesor, pues la capacidad de pasar de unas representaciones a otras y de utilizarlas de manera adecuada para la solución de problemas es diferente entre maestros y alumnos. Por ejemplo, Kohl y Filkenstein afirman que:

*“El uso de representaciones por parte de los maestros es más denso en el tiempo y los novatos tienden a moverse entre las diferentes representaciones (múltiples) posibles muchas veces.”* (Kohl & Filkenstein, 2008, pág. 1)

Añadiendo que lo importante para lograr un uso efectivo es saber cuándo y de qué forma pasar de una representación a la otra.

Ese saber cuándo debería ser objeto de enseñanza.

Aunque el tiempo de clase destinado al desarrollo del uso eficaz de las representaciones ocupe tiempo tradicionalmente destinado a la enseñanza de “definiciones y operaciones<sup>2</sup>”, se justifica esta sustitución por los beneficios que recibirá el proceso enseñanza-aprendizaje, por ejemplo algunos problemas físicos pueden ser resueltos mediante una aproximación que requiere “razonar” con conceptos físicos, más que aplicar directamente las ecuaciones asociadas (Knight, 2008, pág. 31). Pero puede argumentarse aún más allá al plantear que las competencias representacionales asociadas pueden ser extrapoladas a otros ámbitos de la vida.

#### **2.2.1.2. ¿Qué se entiende por una dificultad en la lectoescritura de la imagen durante el proceso enseñanza-aprendizaje de la física?**

López y Pintó (López Simó & Pintó Casulleras, 2011, pág. 22) han propuesto considerar una imagen externa como problemática “*cuando puede fomentar interpretaciones erróneas o bien cuando la lectura que puede hacer un lector novel modifica el sentido con el que fue diseñada*”.

A esta noción habría que agregar las dificultades que surgen para crear imágenes, por ejemplo al representar un concepto físico mediante un dibujo.

A lo largo de esta tesis asumiremos que existe una ***dificultad en la lectoescritura de la imagen*** durante el proceso enseñanza-aprendizaje ***cuando no se logra el objetivo de utilizarla de manera eficaz para representar y comunicar conceptos, procesos o fenómenos físicos manteniendo el sentido con el que fue diseñada.***

Debe entenderse que las *dificultades en la lectoescritura de la imagen* no se encuentran en las imágenes en sí mismas, sino en el uso que se pretende hacer con ellas. Esto implica establecer la dificultad en la zona de interacción entre la imagen y el sujeto, es decir, las dificultades en la lectoescritura tienen siempre un aspecto subjetivo. No obstante, existen dificultades comunes a varios sujetos al usar una

---

<sup>2</sup> Se ha querido distinguir de “conceptos” que, como se enunciará más adelante, en este trabajo se entienden como algo más general que la mera definición.

misma imagen o formato de representación, por ejemplo al interpretar una gráfica de movimiento, en ese caso puede pensarse que la dificultad adquiere mayor grado de *objetividad*, y resulta pertinente establecer que dichas dificultades requieren un tratamiento diferente al requerido por las dificultades individuales.

Considerando que la imagen externa es una representación externa, las dificultades asociadas a la generalidad de las representaciones son heredadas a las dificultades asociadas con la imagen externa. Ainsworth (Ainsworth, 2008) ha puesto énfasis en que las funciones que cumplen las representaciones externas dependen del conocimiento de los aprendices y no sólo de la intención de los diseñadores, por lo que es de esperarse que las mismas dificultades emerjan en el caso específico de las imágenes externas, hecho que será considerado más adelante.

## **2.2.2 EL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE COMO UN PROCESO DE COMUNICACIÓN.**

Desde la perspectiva constructivista, el proceso enseñanza-aprendizaje puede establecerse como la conjunción de un proceso de comunicación y un proceso de construcción intelectual. En el contexto escolar el estudiante construye los conceptos disciplinarios a partir de sus ideas previas, sus conocimientos previos, los materiales y las actividades de enseñanza propuestas, que incluyen la interacción con los materiales, con sus compañeros y con el maestro. La interacción ocurre con base en los diferentes lenguajes y éstos últimos se basan en las formas de representación, por lo que la construcción intelectual depende del grado con que las representaciones permiten una comunicación eficaz

Para que ocurra el aprendizaje significativo, visto como una construcción intelectual dentro del proceso enseñanza-aprendizaje es *necesaria* una comunicación eficaz, pero no es *suficiente*. *Entender* un mensaje no implica de manera forzosa que se ha aprendido significativamente, pues existen distintos niveles en los que el mensaje puede ser entendido.

Desde la perspectiva disciplinar los objetivos fundamentales de la comunicación entre alumnos y maestros es el aprendizaje significativo que, en el caso de la ciencia, implica la construcción conceptual y el desarrollo de habilidades disciplinarias. En ambos casos se requiere el uso de representaciones internas y externas que incluyen el aprendizaje de códigos y de formas de codificar.

### **2.2.2.1 Elementos básicos del proceso de comunicación: emisor, receptor y mensaje**

Como menciona Aparici (Aparici, Fernández Baena, García Mantilla, & Osuna Acevedo, 2006, pág. 33) el proceso comunicativo puede modelarse a través de tres elementos básicos: un emisor, un receptor y un mensaje. Esta noción, planteada desde el Modelo Clásico del Código, implica *“un emisor (que) codifica mediante una señal el mensaje que intenta transmitir, mensaje que es, a su vez, descodificado a partir de esa señal por quien la recibe, gracias a sendas copias de un código idéntico que ambos comparten”* (Wilson & Sperber, 2004, pág. 238).

Para que la comunicación sea eficaz, no basta que el emisor emita un mensaje sino que se requiere que el emisor, el receptor y el mensaje cumplan con ciertas condiciones. Para Wilson y Sperber (Wilson & Sperber, 2004, pág. 238) *“la comunicación será eficaz en la medida en que el campo de experiencias entre emisor y receptor sobre un determinado tema sea común o cercano para ambos”*, lo que implica que durante el proceso de enseñanza-aprendizaje se deban considerar tanto las experiencias como los códigos utilizados por alumnos y maestros, resultando fundamental investigar y explicitar tanto los códigos como las formas de representación implicadas. En particular, resulta pertinente estudiar las interpretaciones que los alumnos hacen de las representaciones utilizadas por los maestros, así como también las interpretaciones que los maestros dan a las representaciones hechas por los alumnos. En ese sentido uno de los aspectos más importantes de los modelos de comunicación sería poder establecer los mecanismos o reglas mediante los cuales el receptor asocia significados a los mensajes.

En la actualidad existen teorías que consideran que la significación no es tan sencilla como lo planteaba la Teoría Clásica del Código, sino que se requiere considerar otros aspectos para entender el acto comunicativo. Según la Teoría Inferencial de la comunicación, por ejemplo, *“el significado lingüístico al que se llegue mediante la decodificación será solo uno de los inputs que intervengan en un proceso de inferencia no-demostrativa que provocará una interpretación particular del significado del hablante”* (Wilson & Sperber, 2004, pág. 238). Por ello, no es suficiente la información *textual* para explicar la interpretación que el receptor hace de un mensaje sino que el receptor utiliza información extra, entre la que se debe incluir la información contextual y la intención del emisor.

### **2.2.2.2 Dificultades asociadas al flujo de información durante el acto comunicativo**

Durante la comunicación maestro-alumno el flujo de información inicia con la representación interna (representación mental) de la idea o concepto que pretende ser comunicada por el emisor (alumno o maestro). Ya que la naturaleza de las representaciones internas es diversa (pueden ser visuales, auditivas, etc.) y debido a

que las representaciones internas no son directamente comunicables, el emisor debe crear una representación externa que fungirá como “materialización” del mensaje.

La representación externa puede ser creada por el emisor en sentido estricto (por ejemplo al realizar un dibujo) o adaptada a partir de representaciones previamente existentes (por ejemplo utilizando una fotografía o gráfica realizada por alguien más). En ambos casos el emisor debe realizar una serie de tareas cognitivas entre las que se incluye la selección de los elementos representativos análogos a los de su representación interna. La creación o selección de una representación externa apropiada (pertinente y eficaz) depende de los conocimientos y creencias del emisor tanto sobre el referente como sobre las características del receptor, así como de sus habilidades de “escritura”.

Cuando las representaciones externas son visuales, deberán ser interpretadas por el receptor (alumno/maestro) utilizando los conocimientos, creencias y habilidades de “lectura” que posee. Entre éstas se incluyen el reconocimiento de los elementos representacionales, del contexto y de la intención del emisor (maestro/alumno).

A partir de la “lectura” de la representación externa se espera que el receptor cree una representación interna que sea análoga a la representación interna del emisor. Como en cualquier analogía se tendrá cierto grado de similitud y ciertas diferencias con la representación original.

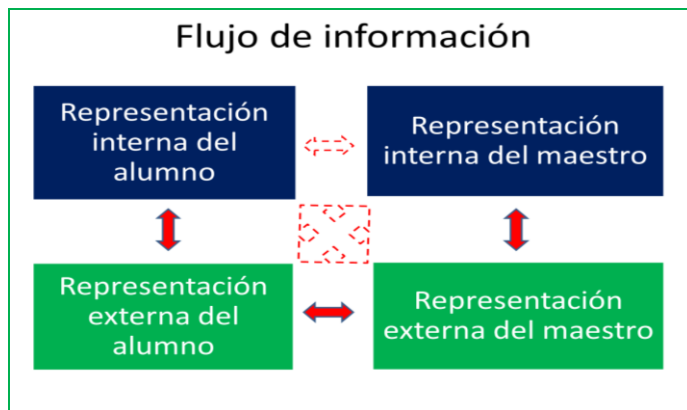


Ilustración 2: Relación entre los 4 tipos generales de representaciones y el flujo de información.

Ya que las representaciones internas del emisor y del receptor no pueden ser comparadas directamente con otras representaciones, el grado de similitud entre ellas nunca es conocido del todo. Es de esperarse, sin embargo, que en cada uno de los pasos que llevan desde la representación interna del emisor hasta la representación interna del receptor existan pérdidas o transformaciones de la información.



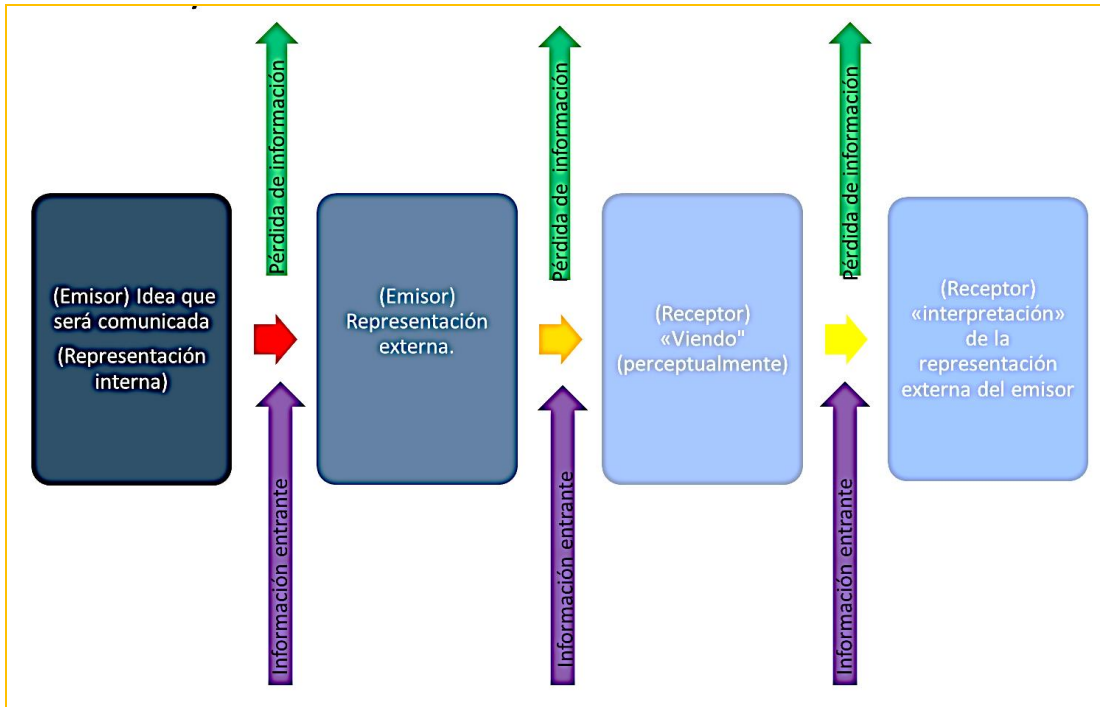


Ilustración 3: Transformación de la información desde el emisor hasta el receptor debido a la entrada de nueva información y a la pérdida de información en cada etapa.

En casos extremos el sentido original puede ser completamente cambiado o incluso la representación externa puede carecer de sentido para el receptor, en cuyo caso la representación puede perder su carácter de representación para constituirse en objeto.

Las transformaciones de la información durante el proceso comunicativo y la imposibilidad de establecer los niveles de iconicidad entre las distintas representaciones involucradas constituyen en sí mismas dificultades asociadas con el uso de la imagen, pues pueden implicar un cambio de sentido.

### 2.2.2.3. Dualidad de las representaciones externas: representaciones u objetos

Las representaciones externas tienen naturaleza dual, es decir son al mismo tiempo objetos y modelos representacionales (García García, 2005, pág. 25). Un "objeto" en este sentido es algo que no necesariamente hace referencia a algo más, a diferencia de algo que sirve para representar a un elemento no presente. Una representación externa puede representar algo distinto de lo que el emisor espera que represente o incluso puede llegar a no representar algo (en el sentido de compartir características con un referente). Duval (García, 2005, pág. 29) especifica que una representación sólo es tal cuando da acceso al objeto representado, por lo que si una "representación" no da acceso a aquél parecería tomar el lugar de objeto en sí misma. Es decir, al carecer de un referente la representación puede ser considerada como un objeto, de manera similar a como una cruz puede verse simplemente como una cruz y no como un representación de la cristiandad. Un alumno que no tiene una alfabetización visual, relacionada por ejemplo con las representaciones visuales del

movimiento de un objeto, podría no asociar significados físicos a la representación gráfica, sino sólo percibir líneas o formas planas, por lo que la gráfica se establece como un objeto y no como una representación.

Según Ausubel:

*“La realidad se percibe a través de un filtro conceptual o de categorías; esto es, del contenido cognoscitivo que un agregado de palabras habladas o escritas provoca en el receptor de un mensaje”* (Ausubel, 1981, pág. 577)

Cuando se pide a los alumnos que interpreten una representación externa, deben simultáneamente interpretar el discurso del docente y los diferentes modos que utiliza para representar los contenidos (Aguilar, Maturano, & Nuñez, 2007, pág. 695). Dicha interpretación requiere del estudiante un esfuerzo cognitivo mayor que el que en general supone el docente, pues éste piensa utilizando simultáneamente los diferentes niveles de representación, macroscópico y simbólico, mientras en su discurso explicita información en cada uno de ellos en forma alternada y secuenciada. Del mismo modo, el docente utiliza distintos recursos que se complementan para proporcionar información a sus alumnos recurriendo, entre otros, al lenguaje verbal, visual, gráfico, formal, gestual, matemático. Esta multiplicidad de lenguajes utilizados en la enseñanza de las Ciencias requiere atención particular dado que el alumno no siempre cuenta con la misma variedad de posibilidades de representación.

Por otro lado, la percepción de la “realidad” implica filtros conceptuales individuales, que en muchos casos pueden no corresponder con las categorías consideradas pertinentes desde la perspectiva científica. Según Galagovsky citada por Aguilar (Aguilar, Maturano, & Nuñez, 2007):

*“...cada uno de aquellos lenguajes (los lenguajes usados por las comunidades científicas, por ejemplo) "utiliza códigos y formatos sintácticos convencionales y consensuados", propios de cada disciplina. La autora define a los códigos como las "convenciones normativas - establecidas por consenso por los expertos en una disciplina que dan validez a los elementos que conforman los lenguajes". Por otro lado, entiende por formatos sintácticos a las "elecciones - también basadas en convenciones- sobre las características de las unidades semánticas aceptadas para expresar los contenidos de dicha disciplina". Es importante destacar que para que el aprendizaje se produzca, docente y alumnos deben compartir la misma interpretación de estos códigos y formatos sintácticos.* (Aguilar, Maturano, & Nuñez, 2007, pág. 294)

Por ello para que las representaciones visuales sean algo más que objetos o representaciones con referentes no unívocos, se requiere construir durante la instrucción los filtros conceptuales pertinentes que permitan que alumnos y maestros utilicen categorías compartidas.

Dentro del ámbito educativo la comunicación debe considerarse un proceso evolutivo, donde conforme avanza la instrucción los códigos y signos utilizados van adquiriendo

significados más cercanos a los del saber sabio (saber académico) siendo una de las características de ese proceso la uniformidad de significados.

Considerando a Vigotski, Ausubel planteaba que la invención de un lenguaje con significados relativamente uniformes para todos los miembros de una cultura es posible gracias a la existencia y el empleo de conceptos, lo que facilita la comunicación interpersonal (Vigotsky, 1962, citado por Ausubel, 1981, pág. 578). En ese sentido la conceptualización estaría detrás de la uniformidad de significados, pero la conceptualización misma estaría también ligada a la comunicación interpersonal al menos en dos direcciones; la conceptualización como base para la comunicación interpersonal y la comunicación como base para la construcción conceptual. Lenguaje, comunicación y conceptualización están por tanto íntimamente ligados.

Considerando lo anterior debe procurarse que las actividades propuestas en el aula y la comunicación interpersonal (alumno/maestro o alumno/alumno) fomenten el acceso a los diferentes sistemas semióticos, y que uno de los objetivos de la enseñanza sea explicitar los códigos y convenciones mencionados.

#### **2.2.2.4. El papel del maestro en la selección de los mensajes durante el proceso enseñanza-aprendizaje: la transposición didáctica**

El contenido principal de los mensajes durante el proceso enseñanza aprendizaje está moderado por los contenidos y objetivos estipulados en los programas de estudio. No obstante, aunque los contenidos curriculares han sido establecidos y validados por la comunidad científica, existen diferencias entre el saber de los científicos y el saber que se enseña. Chevallard (Chevallart, 1997) denominó “Transposición Didáctica” al trabajo de transformación de un contenido de saber hacia una versión didáctica de dicho contenido, es decir, hacia un objeto de enseñanza. Este proceso lleva consigo una re-contextualización de los saberes, pues el saber de la comunidad científica involucra individuos que se encuentran en el contexto científico mientras que en educación básica los destinatarios carecen del conocimiento especializado. A partir de Chevallart, se ha propuesto distinguir entre *“los procesos transpositivos que se convertirán en guías de los trabajos de los educadores en el aula, de las transposiciones desarrolladas por éstos en el diseño de la enseñanza concreta en las aulas”* (Cardelli, 2004, pág. 52). Durante el proceso de enseñanza, *“el educador se comporta como una hegemonía, y no como una gestión”* (Cardelli, 2004, pág. 56), por lo que su papel no se reduce a llevar a cabo lo que alguien más ha decidido que se haga (los expertos científicos que validan los saberes “relevantes”, los grupos que deciden los contenidos curriculares), sino que le lleva a tomar parte activa sobre aquello que ha de llegar al alumno, pues *“los procesos de aprendizaje escolar surgen de las prácticas de estudio organizada por el profesor”* (Cardelli, 2004, pág. 51).

En ese sentido, cuando durante el proceso educativo se busca una negociación de significados, el maestro se convierte en un mediador de la re-significación

aproximativa hacia los significados aceptados por la comunidad de expertos (científicos en el caso de la enseñanza de la ciencia), pero dicha negociación se establece en el contexto del saber enseñado y no en el del saber sabio. Son los profesores quienes contextualizan el conocimiento y quienes establecen la intención de los mensajes que emiten, afectando de manera directa la interpretación que los alumnos pudieran hacer de los mensajes relativos a los contenidos curriculares.

La negociación debe considerarse como parte íntegra de la construcción de significados, lo que implica el intercambio de papeles entre emisor y receptor durante dicha negociación, pero aunque los maestros en general son capaces de fungir como receptores, el “tipo” de receptor que asumen queda delimitado por el o los modelos didácticos<sup>3</sup> a los que pertenecen, pudiendo ir desde aquellos que privilegian el flujo unidireccional de información, del experto al enseñante (Fernández González, Elortegui Escartín, Rodríguez García, & Moreno Jiménez, 2001, pág. 260), hasta el establecimiento de canales multidireccionales de comunicación, por ejemplo alumno-alumno, alumno-maestro y maestro-alumno. Cada una de esas posturas afecta no solamente a la negociación de significados, sino al tipo de construcción conceptual y de habilidades que se persigue para los alumnos.

Cuando el maestro toma el papel de emisor él es encargado de crear el mensaje junto con las acciones que ello conlleva, como la selección del formato, la complejidad de la información, el nivel de polisemia, etc. Así mismo, en el caso de que el mensaje esté relacionado con una actividad que se espera lleva a cabo el alumno, debe seleccionarse la cantidad de información y alguna forma de transmitir al alumno las acciones que se espera realice con dicha información.

Esto requiere un grado relativamente bajo de transformación de la información en su ruta desde lo que el maestro ha querido transmitir con su representación externa hasta lo que el alumno interpreta de la representación externa que propuso el maestro.

---

<sup>3</sup> Los modelos didácticos de los docentes se relacionan directamente con el conjunto de conocimientos, sustentados en teorías implícitas, que constituyen la base cognitiva del trabajo del docente. Un estudio categorización sobre los modelos didácticos de los docentes puede encontrarse en (Fernández González, Elortegui Escartín, Rodríguez García, & Moreno Jiménez, 2001, pág. 260)

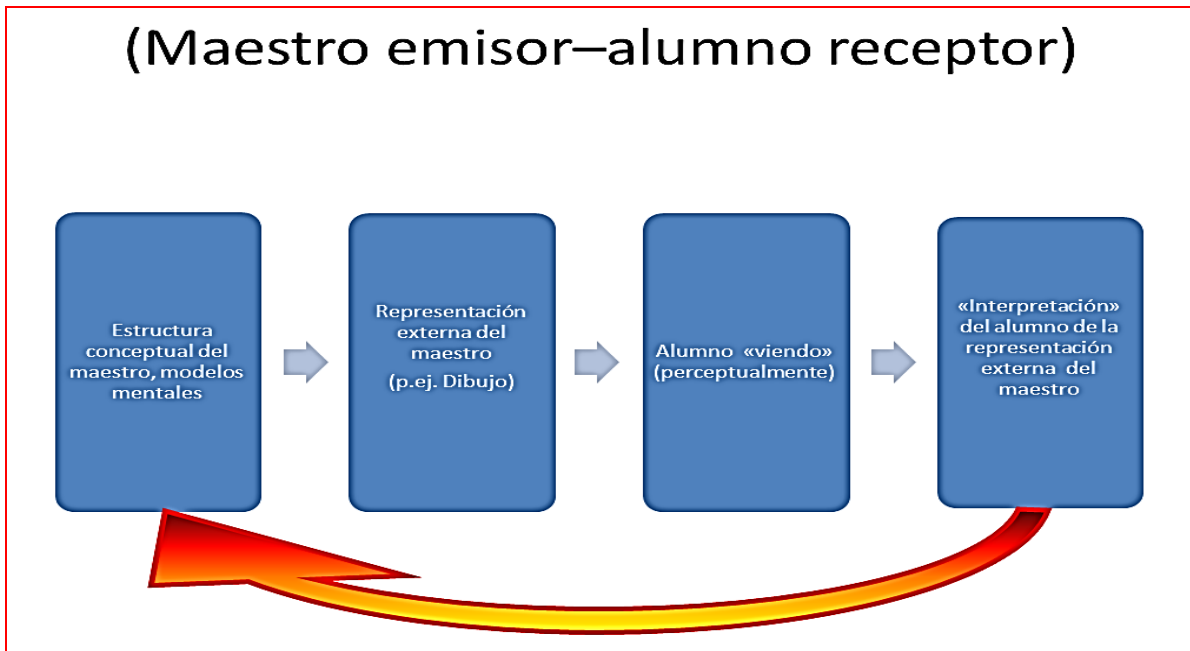


Ilustración 4: Relación entre el maestro como emisor y el alumno como receptor de una actividad para el alumno en el aula.

#### 2.2.2.5. Representaciones internas y representaciones externas durante el acto de comunicación

El conocimiento conceptual se caracteriza por una relación íntima entre lo interno y lo externo. Las representaciones internas son representaciones que se encuentran en la mente del sujeto y su existencia ha sido rebatida desde la perspectiva positivista por carecer de pruebas o de métodos que permitan confirmar su existencia vía una medición “directa”. Hasta el momento no es posible investigar las representaciones internas más que a partir de métodos indirectos, que consisten en el análisis de las representaciones externas que crea un sujeto o de la interpretación de las imágenes o datos provenientes de instrumentos para detectar la actividad cerebral. Formalmente ello no implicaría que las representaciones internas existan o que sean análogas a las representaciones externas.

Las representaciones externas pueden ser creadas o bien adaptadas de representaciones ya existentes, por ejemplo al realizar un dibujo o al utilizar una imagen de un libro de texto. Sin embargo, por su propia naturaleza, las representaciones externas no son “copias fieles” de las representaciones internas, sino que existen múltiples factores que delimitan su parecido, por ejemplo carencias en el lenguaje oral o escrito del emisor, falta de habilidades para el dibujo o limitaciones del sistema de signos en sí mismo. Estas dificultades pueden permanecer ocultas a la conciencia del emisor, pues selecciona, de manera más o menos automática, los elementos representacionales que considera más adecuados para representar el mensaje, y sería uno de los aspectos que requeriría ser trabajado a partir de la metacognición, relacionada con lo que di Sessa et al. (di Sessa, Hammer, & Sherin, 1991, pág. 123) han denominado competencia meta representacional.

Llamaremos a la etapa de formación de representaciones externas la “Zona de Escritura”, considerando el concepto de *Escritura* de manera generalizada, para incluir representaciones externas con diferentes grados de iconicidad, como en el caso de dibujos y gráficas. Así mismo, entendemos que la “Zona de Lectura” corresponde a la relación que se entabla entre la “percepción” de la representación externa y la interpretación que el receptor hace de ella, aunque como se verá más adelante, en la interpretación influyen otros factores.

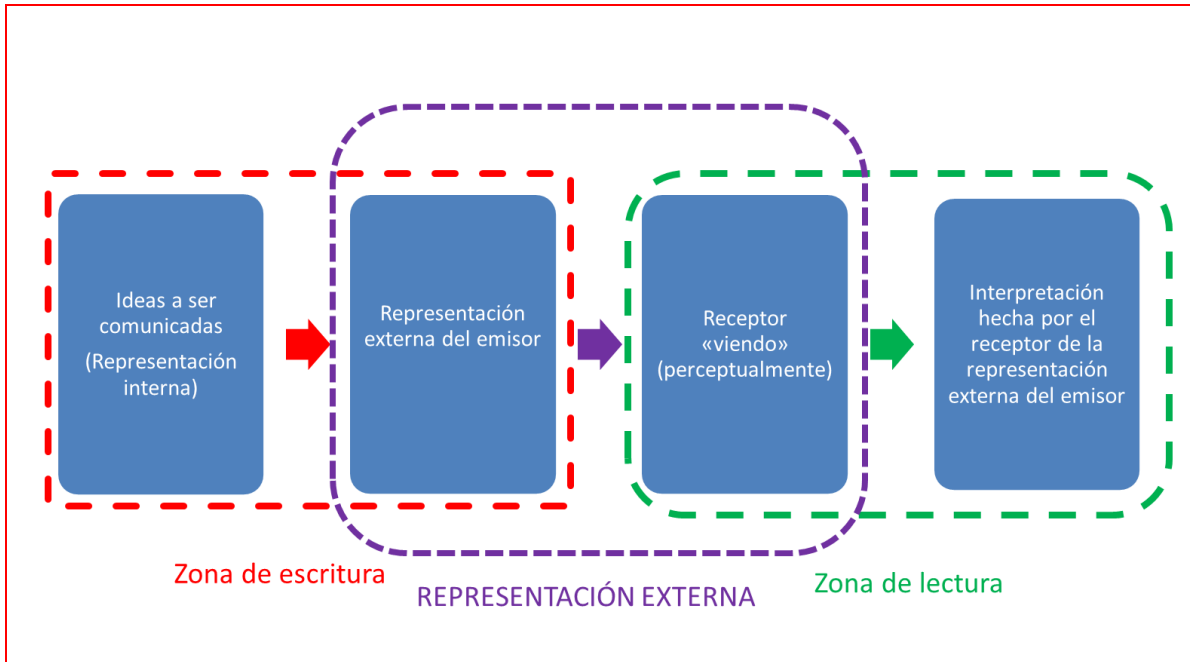


Ilustración 5: Zonas de lectura y escritura y su relación con las representaciones externas durante el proceso de comunicación.

### 2.2.2.6. Transformación de la información desde la mente del emisor hasta la mente del receptor.

Debido a la imposibilidad de acceder directamente a las representaciones internas, desde el punto de vista de la enseñanza, las representaciones externas son una de las maneras que el profesor tiene para evaluar los conocimientos y habilidades de los alumnos. Como estas no son uno de los objetivos de la alfabetización visual, sería dotar a los individuos de herramientas para externar de la manera más “fidedigna” posible sus representaciones internas, es decir que cuenten con diversos medios visuales para la representación externa y que desarrollen las competencias para su uso en la explicitación de lo que piensan. En ese sentido se estaría proponiendo el desarrollo de habilidades para vincular representaciones internas con representaciones visuales externas útiles para la comunicación. Desde el punto de vista del lenguaje oral sería el equivalente a “encontrar las palabras para expresar lo que quiero decir”. Esta frase no sólo involucra las palabras adecuadas, sino la sintaxis correspondiente.

### **2.2.2.7. El alumno como emisor-receptor de sus propios mensajes**

Con el advenimiento de la metacognición como uno de los aspectos deseables durante el proceso educativo, es pertinente ampliar la definición de comunicación para abarcar algunas de las actividades que el individuo realiza consigo mismo. Este podría ser el caso durante algunos procesos de lecto-escritura de imágenes.

Según Flavell, citado por Campanario:

*“La metacognición se refiere al conocimiento que uno tiene sobre los propios procesos y productos cognitivos o sobre cualquier cosa relacionada con ellos, es decir, las propiedades de la información o los datos relevantes para el aprendizaje”* (Campanario, 2000, pág. 369)

Si se plantea una actividad donde el alumno escriba un mensaje que involucre un concepto y después deba leerlo desde una nueva perspectiva, por ejemplo posteriormente a la instrucción relativa a ese concepto, se espera que en ese momento realice una lectura distinta de aquella que hubiera realizado inmediatamente después de escribirlo (al menos si el aprendizaje fue significativo), con la posibilidad de re-significará el contenido inicial. El alumno se vuelve emisor y receptor de la información. En este ejemplo, el lapso de tiempo entre la emisión del mensaje y la recepción del mismo puede ser “inusualmente” largo, sin embargo algo similar podría ocurrir durante la elaboración de una representación externa, en la que el alumno debe evaluar en tiempo real si la representación externa que está creando representa de manera “fidedigna” aquello que está queriendo representar. Este proceso de valoración implica entrada y salida de información desde y hacia el alumno mismo, y puede llegar a ser un proceso dinámico, donde la representación interna y la representación externa del alumno se van retroalimentando y modificando una a la otra, constituyendo en algunos casos afortunados, un proceso de construcción conceptual.

### **2.2.3. IMAGEN Y CONSTRUCCIÓN INTELECTUAL**

Una de las ideas centrales en las corrientes constructivistas es el papel que se asocia al aprendiz dentro del proceso enseñanza-aprendizaje. Quién aprende pasa de considerarse un sujeto pasivo, como mero receptáculo del conocimiento, a ser visto como constructor de su propio conocimiento. Esta idea se opone a los planteamientos teóricos que le precedieron, en particular al conductismo.

Como lo explica Hernández (Hernández Rojas, 2006, pág. 13), no existe una sola teoría constructivista, sino que conviven diversas corrientes constructivistas en la psicología de la educación y considera que

*“en todas las propuestas constructivistas parece prevalecer –con ciertas diferencias y énfasis distintos- la idea de que cuando el sujeto cognoscente realiza un acto de conocimiento o de aprendizaje, no copia la realidad*

*circundante, sino que construye una serie de representaciones o interpretaciones sobre la misma” (Hernández Rojas, 2006, pág. 14)*

Para Otero:

*“Toda posición teórica que establezca que no conocemos el mundo directamente sino que lo representamos por medio de símbolos, esquemas, operaciones, modelos mentales, imágenes, proposiciones, conceptos, estará centrando el análisis en alguna clase de actividad organizadora del sujeto”. (Otero M. R., 1999, pág. 94)*

y añade:

*“(aunque)...en todos los casos es el sujeto quien elabora las representaciones y las entidades mentales y son estas representaciones las que determinan las formas de actividad subjetiva...lo que varía considerablemente, desde las posiciones más cercanas al procesamiento de la información de base asociacionista, hasta posiciones más constructivistas es el concepto de “actividad”. Una cosa es procesar información y otra muy diferente construir significados, las informaciones se miden en términos de probabilidad matemática, los significados necesitan de una mente que los interprete. Los significados se constituyen a partir de intentos de transformar la realidad, las informaciones simplemente la reproducen”.*

Cuando Otero enfatiza la construcción de significados, apela directamente a las bases del constructivismo ausubeliano, que plantea como problemática *“El estudio de la asimilación y retención de significados dentro de las situaciones educativas escolares”* (Hernández Rojas, 2006, pág. 79), sin embargo esto no implica hacer a un lado otras propuestas constructivistas y mientras algunos autores opinan que los diferentes constructivismos son irreconciliables, otros consideran que el diálogo, la complementariedad y la integración son situaciones posibles y deseables (Hernández Rojas, 2006, pág. 30).

En este trabajo asumimos la postura que considera posible la complementariedad e integración de diferentes constructivismos e intentamos aprovechar esa condición para fundamentar el trabajo con la imagen en la enseñanza de la física.

### **2.2.3.1. Imagen y aprendizaje significativo**

David P. Ausubel, a través de su Teoría del Aprendizaje Significativo, es uno de los grandes pilares en la Psicología de la educación, y aunque no habla de la imagen, ni contextualiza su estudio dentro del ámbito de la física, si establece su teoría en el contexto escolar y su trabajo es referente obligado al hablar de constructivismo.

En su obra más conocida, “Psicología Educativa”, Ausubel menciona que:



*“...hay una estrecha relación entre el saber cómo aprende un alumno y las variables manipulables que influyen en ese aprendizaje” (Ausubel, 1981, pág. 26)*

Este señalamiento contempla los elementos fundamentales en el proceso que estudiamos, pues establece al alumno como centro del aprendizaje, resalta la importancia de saber la manera en que él lleva a cabo el proceso de aprendizaje y contempla la posibilidad de influir sobre dicho proceso desde el exterior.

Según una revisión del término hecha por Rodríguez (Rodríguez Palmero, 2002), el Aprendizaje Significativo es:

*“...el proceso que se genera en la mente humana cuando subsume nuevas informaciones de manera no arbitraria y sustantiva y que requiere como condiciones: predisposición para aprender y material potencialmente significativo que, a su vez, implica significatividad lógica de dicho material y la presencia de subsumidores o ideas de anclaje en la estructura cognitiva del que aprende.” (Rodríguez Palmero, 2002, pág. 26)*

Donde el concepto de *Estructura Cognitiva* como lo establece Hernández (Hernández Rojas, 2006) es:

*“...una red de conceptos y proposiciones jerarquizada por niveles de inclusión, abstracción y generalidad, que es organizada por campos de conocimiento...(y) constituye un cúmulo de lo que genéricamente se denominan los conocimientos previos.” (Hernández Rojas, 2006, pág. 86)*

En una cita que el mismo Hernández hace de Moreira (Hernández Rojas, 2006, pág. 92), el Aprendizaje Significativo sería un concepto *Supra-teórico*, pues sería subyacente y subentendido en las teorías constructivistas.

Para Ausubel el aprendizaje significativo puede ser representacional, de conceptos o proposicional.

De éstos el tipo más básico de aprendizaje significativo, del cual dependen todos los demás aprendizajes de esta clase, es el aprendizaje de representaciones, que consiste en hacerse del significado de símbolos solos y de lo que éstos representan, por ejemplo se ocupa de los significados de palabras unitarias. Como contraparte se encuentra el Aprendizaje de proposiciones, donde una proposición es un enunciado que establece una relación entre dos o más conceptos; el aprendizaje de proposiciones trata los significados de las ideas expresadas por grupos de palabras en proposiciones u oraciones (Ausubel, 1981, pág. 61). Un tercer tipo de aprendizaje significativo lo constituye el aprendizaje de conceptos, que se refieren a ideas genéricas unitarias o categoriales (Ausubel, 1981, pág. 62). Aquí es importante resaltar que el significado que para Ausubel tiene el término concepto difiere del que

propone Vergnaud (que veremos posteriormente), lo que marca una de las diferencias entre ambas aproximaciones teóricas.

Aunque el trabajo de Ausubel está formulado principalmente para explicar el aprendizaje del lenguaje verbal, existen propuestas como la del modelo SOI, de R. Mayer (Mayer, 2000), que integra las imágenes a la teoría ausubeliana de manera análoga a las palabras, estableciendo un mecanismo paralelo entre los procesos cognitivos basados en imágenes y aquellos basados en palabras (Hernández Rojas, 2006, pág. 95).

Un aspecto relevante de la Teoría de Ausubel es el papel que juegan los materiales para facilitar el aprendizaje significativo. La importancia de no confundir el proceso de aprendizaje con la herramienta para facilitararlo ha sido mencionada por Rodríguez (Rodríguez Palmero, 2002, págs. 32-34), quien pone especial énfasis en la necesidad de utilizar la metacognición (por ejemplo al emplear mapas conceptuales) como vehículos para la negociación de significados.

En el caso del uso de imágenes externas como instrumento facilitador, dicha negociación se torna relevante debido a la naturaleza polisémica de aquellas; no bastaría enfrentar al alumno a imágenes para lograr un aprendizaje significativo con significados cercanos a los que les asocia docente, pues ambos parten de conocimientos previos y utilizan esquemas diferentes.

Siguiendo la interpretación que Rodríguez hace de Ausubel, siempre debe mediar una explicación de modo que se posibilite el cambio de sentidos atribuidos y la evaluación de la conceptualización realizada (Rodríguez Palmero, 2002, pág. 33).

Según Rodríguez (Rodríguez Palmero, 2002, pág. 13):

*“Para que se produzca aprendizaje significativo han de darse dos condiciones fundamentales:*

- *Actitud potencialmente significativa de aprendizaje por parte del aprendiz, o sea, predisposición para aprender de manera significativa.*
- *Presentación de un material potencialmente significativo. Esto requiere:*
  - *Por una parte, que el material tenga significado lógico, esto es, que sea potencialmente relacionable con la estructura cognitiva del que aprende de manera no arbitraria y sustantiva.*
  - *Y, por otra, que existan ideas de anclaje o subsumidores adecuados en el sujeto que permitan la interacción con el material nuevo que se presenta.”*

Esto, si se aplica al caso de la alfabetización visual en física, implica que para la selección del material y las actividades, deberían considerarse las ideas de anclaje existentes en el sujeto, no dando por sentado ni que la imagen es obvia ni que su interpretación es trivial, sino que se requiere de una exploración tanto de las ideas de

anclaje como de las actitudes que los estudiantes tienen hacia el uso de las imágenes como material de aprendizaje.

### 2.2.3.2. Imagen interna y modelos mentales

En el área de la cognición es necesario distinguir entre dos tipos de representaciones, las representaciones internas y las representaciones externas. Las imágenes forman parte de ambos tipos de representaciones, debiendo diferenciarse las imágenes mentales (o internas) de las imágenes externas.

Las imágenes mentales constituyen uno de los componentes básicos de los Modelos Mentales en la Teoría de Johnson-Laird (Johnson-Laird, 1996). Al respecto Moreira y Greca, explican:

*“(Johnson-Laird)... postuló al menos tres tipos de representaciones mentales: Representaciones proposicionales (cadenas de símbolos), modelos mentales (análogos estructurales del mundo) e imágenes (perspectivas de un modelo mental), todas ellas necesarias para poder explicar las maneras en las que las personas razonan, hacen inferencias, comprenden lo que otros hablan y entienden el mundo.” (Rodríguez Palmero, 2002, pág. 39)*

- Las representaciones proposicionales no están formadas por palabras, pero captan el contenido abstracto, ideativo de la mente que estaría expresado en una especie de lenguaje de la mente.
- Los modelos mentales son análogos estructurales del mundo, desempeñan un papel representacional analógico estructural y directo, reflejan aspectos relevantes del estado de cosas correspondiente en el mundo real o imaginario.
- Las imágenes son producto tanto de la percepción como de la imaginación, representan aspectos perceptuales del mundo real, representan cómo algunas cosas son vistas desde un punto de vista particular y no suponen necesariamente la construcción de un modelo mental explicativo y predictivo del que se deriven.

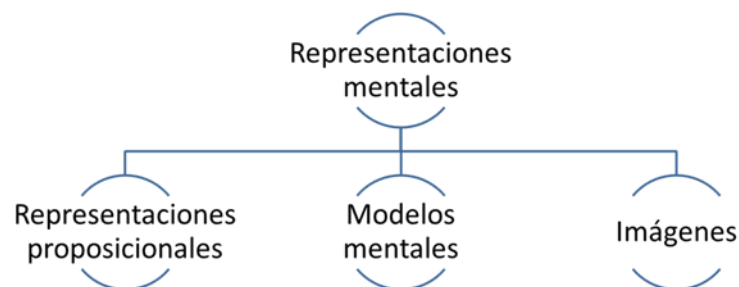


Ilustración 6: Relación de la imagen con las representaciones mentales según el modelo de Johnson-Laird.

Esta separación entre los tipos de representaciones establece un lugar específico para la imagen, superando la idea de que el pensamiento siempre puede ser dado a través

del lenguaje verbal, aunque desde la perspectiva de Johnson-Laird el papel de la imagen es limitado, pues:

*“Las imágenes representan cómo algunas cosas son vistas desde un punto de vista particular y no suponen necesariamente la construcción o la posesión de un modelo mental explicativo y predictivo del que deriven.”* (Johnson-Laird, 1996)

Añadiendo que si bien las imágenes son susceptibles de transformaciones tales como rotaciones, traslaciones o expansiones, no todas las personas razonan con ellas usándolas en sus modelos mentales (surge entonces la pregunta de si podría algún tipo de actividades promover el uso de imágenes en las personas que no las utilizan o incrementar la eficiencia de uso en aquellas personas que ya lo hacen).

Dentro de la teoría de Johnson-Laird se establece una analogía entre la mente y el ordenador, invocando una relación entre el lenguaje de máquina y el lenguaje de la mente, éste último inaccesible para el usuario, pero en el que estarían expresadas las representaciones proposicionales cuando el sujeto trabaja. Asociado a lo anterior existiría el equivalente a los lenguajes de alto nivel, que sí sería accesible al usuario (el propietario de la mente), y que sería la manera (indirecta) en que el lenguaje de la mente puede hacerse consciente.

En la actualidad existe una polémica sobre la forma en que el “lenguaje de máquina” de la mente operaría, en particular en lo que se refiere a la imagen, ya que mientras unos autores establecen que la cognición debe ser analizada exclusivamente en términos de proposiciones (sin necesidad de las imágenes que estarían también codificadas en “lenguaje de máquina”), para otros las imágenes tendrían una existencia mental diferente a la de las proposiciones y deberían ser procesadas en otro formato. (Moreira, Greca, & Rodríguez Palmero, 2002, pág. 39).

### **2.2.3.3. Modelos mentales y modelos conceptuales**

Según Moreira et al. (Moreira, Greca, & Rodríguez Palmero, 2002, pág. 44), a diferencia de los modelos mentales los modelos conceptuales son representaciones externas, compartidas por una determinada comunidad y consistentes con el conocimiento científico que esa comunidad posee y pueden materializarse en forma de formulaciones matemáticas, verbales o pictóricas.

Considerando lo anterior, Moreira propone que:

*“El objetivo inmediato de la enseñanza (en física), mirando exclusivamente el aspecto cognitivo, sería, a través de modelos conceptuales, llevar al estudiante a construir modelos mentales adecuados (consistentes con los propios modelos conceptuales) de sistemas y fenómenos naturales”* (Moreira, Greca, & Rodríguez Palmero, 2002, pág. 46).

En ese sentido, mientras el modelo conceptual es un instrumento de enseñanza, el modelo mental es un instrumento de aprendizaje.

Aplicando esas ideas al propósito de la alfabetización visual en física, las actividades deberían fomentar que, ante una situación problemática donde se involucre la información visual externa, los alumnos fueran aproximando sus modelos mentales a los modelos conceptuales correspondientes, pues:

*“El aprendizaje sería tanto más significativo y más “correcto” desde las Ciencias cuanto más el sujeto fuera capaz de construir (y quisiera construir) modelos mentales abarcadores, articuladores y consistentes con los modelos conceptuales.”* (Moreira, Greca, & Rodríguez Palmero, 2002, pág. 48).

#### **2.2.3.4. La imagen como representación de conceptos físicos**

Para Vergnaud el problema central de la cognición es la conceptualización. Postula que el conocimiento se encuentra organizado en Campos Conceptuales, que se definen como grandes conjuntos informales y heterogéneos de situaciones y problemas, en que para su análisis y tratamiento son necesarias diversas clases de conceptos, representaciones simbólicas, operaciones del pensamiento y procedimientos que se conectan unas con otras durante su aprendizaje o adquisición (Llancaqueo, Caballero, & Moreira, 2003, pág. 401).

La Teoría de los Campos Conceptuales es una teoría cognitivista para el estudio del desarrollo y aprendizaje de competencias complejas, que se basa en el estudio de los procesos subyacentes a la cognición (Bravo & Pesa, 2005, pág. 26). Sirve para analizar cómo se organizan las ideas que están interconectadas y cómo todo eso genera conceptos y representaciones a través del tiempo y trata de delimitar algunos principios que articulan competencias y concepciones ante determinadas situaciones, así como los problemas que surgen de las mismas (Rodríguez Palmero & Moreira, 2008, pág. 90).

La Teoría de los Campos Conceptuales, según el propio Vergnaud:

*“se trata de una teoría psicológica del conocimiento o de la conceptualización de lo real que permite estudiar filiaciones y rupturas entre conocimientos desde el punto de vista de su contenido conceptual.”* (Llancaqueo, Caballero, & Moreira, 2003, pág. 47)

Esas características la hacen una teoría especialmente adecuada para el estudio del aprendizaje científico.

Según Rodríguez Palmero y Moreira a partir de la consideración de que:

- *“Un concepto no se forma en un sólo tipo de situación.*
- *Una situación no se analiza con un solo tipo de concepto.*

- *La construcción y la apropiación de todas las propiedades de un concepto o todos los aspectos de una situación es un proceso de larga duración.*

*Es que Vergnaud propone la idea de Campo Conceptual como un conjunto de conceptos, que nos permiten dar cuenta de las situaciones que vivimos” (Rodríguez Palmero & Moreira, 2008, pág. 92).*

Y el propio Vergnaud establece:

*“...es necesario un cuadro teórico para analizar la actividad. Esto es lo que me ha conducido a retomar y a desarrollar el concepto de esquema, y a definir mejor aquello a que se dirige un esquema: se dirige a las situaciones. Piaget, Vygotsky o Ausubel, estaban interesados en mirar cómo y en qué condiciones el sujeto intenta comprender los objetos y los fenómenos nuevos. Pero no resaltaron, con suficiente fuerza, el acoplamiento teórico esquema/situación, que es la piedra angular de la psicología de las competencias complejas y, desde mi punto de vista, de la didáctica. (Vergnaud, 2007, pág. 288)*

A lo que después añade:

*“- no se puede estudiar el desarrollo de un concepto de manera aislada, porque siempre está tomado de un conjunto, formando un sistema;*

*- la conceptualización es un proceso que forma parte de la actividad, y es necesario, pues, captar las conceptualizaciones que operan en los esquemas, tanto si son explícitas como implícitas; esto es lo que me ha conducido a dar tanta importancia al concepto de invariante operatorio. (Vergnaud, 2007, pág. 288)*

Por lo anterior Vergnaud define Concepto diciendo:

*“un **concepto** es un triplete de conjuntos: un conjunto de situaciones, un conjunto de invariantes operatorios, un conjunto de formas lingüísticas y simbólicas”. (Vergnaud, 2007, pág. 288)*

Para Vergnaud *“una situación se refiere a eventos y ocasiones complejas de la realidad, que suponen acción”.* (Rodríguez Palmero & Moreira, 2008, pág. 105)

Es en la acción para hacerle frente a la situación la que implica los procesos cognitivos. Posteriormente las *situaciones* tomarán el papel de *referente*.

Vergnaud distingue entre la **forma operatoria del conocimiento** y la **forma predicativa del conocimiento**. La primera permite actuar en situación, mientras que la segunda enuncia los objetos de pensamiento, sus propiedades, sus relaciones y sus transformaciones. (Vergnaud, 2007, pág. 286)

La forma operatoria del conocimiento es posible gracias a un conjunto de elementos cognitivos que poseen sus estructuras mentales llamados **conocimientos-en acción**.

Los conocimientos en acción están constituidos por **conceptos en acción** y por **teoremas en acción**.

Un **concepto en acción** es un objeto, un predicado o una categoría que se considera relevante y un **“teorema en acción”** es una proposición que se da por cierta sobre lo real” (Vergnaud, 2007, pág. 292)

Desde la perspectiva de Vergnaud el desarrollo del pensamiento debe entenderse a partir de los **esquemas** y las situaciones, donde:

*“Un **esquema** comprende necesariamente cuatro categorías de componentes:*

- un objetivo(o varios), sub-objetivos y anticipaciones.*
- reglas de acción, de toma de información y de control.*
- invariantes operatorios (conceptos-en-acto y teoremas-en-acto) (también llamados conceptos en acción y teoremas en acción respectivamente)*
- posibilidades de inferencia” (Vergnaud, 2007).*

*“Un concepto es operativo cuando permite abordar soluciones nuevas, nunca encontradas previamente (por el sujeto)” (Vergnaud, 2006, pág. 92) y complementa diciendo que “el conocimiento racional o es operatorio o no es tal conocimiento” (Vergnaud, 1990, pág. 2). Con ello pretende establecer la importancia de la acción como parte integral de la noción de concepto.*

En este trabajo se retoma tanto la noción esquema como la de concepto propuesta por Vergnaud, pues la noción de concepto incluye explícitamente a las representaciones externas como parte de los que el concepto es y la noción de esquema permite entrelazar conceptos y situaciones, que son aplicadas a las actividades didácticas propuestas durante la práctica docente.

### **2.2.3.5. La imagen durante la creación de esquemas y en los procesos metacognitivos**

Según Greca y Moreira (Greca, 2008), mientras la teoría de Johnson-Laird se ocupa de las representaciones mentales que se generan en la memoria episódica, la de Vergnaud centra su atención en la construcción de conceptos (conceptualización de lo real).

Los modelos mentales de Johnson-Laird son fundamentalmente creados mediante la memoria de trabajo, mientras que los conceptos-en-acción y los teoremas-en-acción propuestos por Vergnaud guiarían el proceso de construcción de los modelos

mentales, en la medida en que determinan los elementos de la situación que resultan relevantes para el sujeto-o sea, los elementos de la situación que deben ser representados- y las propiedades que pueden ser aplicadas sobre ellos (Greca, 2008, pág. 147).

En palabras de Greca y Moreira:

*“Proponemos que, mientras que los esquemas se mantienen como estructuras en la memoria de largo plazo, con los teoremas y conceptos-en-acción, los sujetos, cuando se enfrentan a una situación nueva, generan representaciones en la memoria a corto plazo, los modelos mentales de la situación en pauta, modelos de trabajo para la solución de la tarea.”* (Greca, 2008, pág. 147)

Ya que los esquemas son considerados estructuras en la memoria a largo plazo, no incluyen directamente a las inferencias que se realizan mediante los modelos mentales, que son a su vez utilizados en situaciones nuevas y que no requieren ser recordados. Los modelos mentales serían utilizados para enfrentar situaciones nuevas, pero la selección sobre el tipo de modelo a utilizar en una situación específica estaría a su vez determinada o influenciada por los esquemas, es decir, se tendría un proceso en el que los modelos mentales (en la memoria a corto plazo) dependen de los esquemas (en la memoria a largo plazo). A su vez, si en reiteradas ocasiones se utiliza un mismo modelo mental de manera exitosa, paulatinamente se iría creando un esquema, estableciéndose como parte de los invariantes operatorios que operan a largo plazo. De esta manera, tanto modelos mentales como campos conceptuales cooperarían entre sí para formar la estructura cognitiva.

Aplicando lo anterior a la enseñanza de la física, cuando los alumnos se enfrenten a una actividad nueva, para la cual no han desarrollado esquemas, probarán aplicar con esquemas que les parezcan apropiados (probablemente a partir de la detección de similitudes o aspectos análogos con situaciones resueltas con anterioridad para las que ya tienen esquemas), y en ocasiones darán la respuesta a partir de lo que obtienen con esa aplicación, sea o no pertinente desde la perspectiva científica.

Desde la investigación sería menester establecer los invariantes operatorios; los teoremas en acción y los conceptos en acción, “compatibles” con el modelo (conceptual) que se pretende enseñar.

El uso de la imagen, en este caso, estaría contemplado tanto como una herramienta para apoyar el aprendizaje como para profundizar en la evaluación. Por un lado, la imagen serviría para evaluar los modelos mentales en comparación con los modelos conceptuales para explorar el nivel de analogía entre ambos. Esto se realizaría tanto desde el análisis de la lectura de la imagen como desde el de la escritura de la misma y sería necesario establecer los límites de utilidad en cada caso.

La metacognición, que forma parte fundamental del proceso de aprendizaje, se vería beneficiada creando actividades donde el alumno analizara sus propias



representaciones externas, así como la manera en que las utiliza para apoyar su aprendizaje.

La comparación de sus representaciones externas con las de sus pares o con las científicamente aceptadas permite negociar significados, explicitar algunos aspectos sociales asociados al uso de representaciones externas (como la necesidad de establecer convenciones), y su papel dentro de la comunicación de la ciencia.

Considero que el proceso de negociación social, más cercano a la teoría de Vigotsky, no entra en contradicción con las otras teorías mencionadas, donde no se pone tanto énfasis en la construcción social del conocimiento, ya que aunque suponemos que lo aprendido está en la mente del sujeto, el proceso para aprenderlo se ve influenciado por los factores de socialización.

Un aspecto que debe cuidarse es que, aunque popularmente se considera que para decir algo es importante saber qué es lo que quiere decirse, en ocasiones no existe un orden pensamiento-acción, donde sea necesario tener predefinido el discurso antes de pronunciarlo. El discurso puede irse desarrollando y retroalimentando conforme se va creando.

La secuencia “realidad”-representación interna-representación externa no tiene tampoco que seguir un orden estricto, sino que debe pensarse como un sistema dinámico.

Como plantean Bravo y Pesa:

*“la lectura de la realidad a partir del conocimiento-en-acción del sujeto determina la construcción de los modelos mentales, pero la búsqueda de coherencia de predicciones , inferencias o explicaciones que resultan de la aplicación de estos modelos mentales con los datos del mundo exterior pueden llevar a modificar los modelos mentales, y eventualmente, a una reestructuración de los esquemas en la medida en que los sucesivos modelos mentales generados resulten insatisfactorios...”* (Bravo & Pesa, pág. 29)

Entonces, una vez realizada una representación externa, por parte del alumno, ésta pasa a ser parte de los datos del mundo exterior, y en ese sentido puede llevarlo a modificar (mediante la lectura y la reinterpretación) sus representaciones internas previas.

#### **2.2.3.6. Papel de la imagen como apoyo a la memoria activa**

Estudios pioneros para mostrar la importancia de las representaciones externas fueron realizados por Larkin y Simon (Larkin & Simon, 1987) y, desde un punto de vista cognitivo por Paivio (Paivio A. , 1981), cuyo trabajo desembocaría en el desarrollo de la “Teoría de la Codificación Dual” (Paivio A. , 2006). Dicha teoría propone que el mecanismo cognitivo consta de dos subsistemas: un sistema verbal especializado en

el lenguaje y un sistema no verbal especializado en tratar con objetos y eventos no lingüísticos.

Mayer (Mayer, 2000), partiendo de la propuesta de Paivio, considera que la imagen forma parte importante en la memoria activa. En su modelo teórico (denominado SOI), Mayer establece un paralelismo entre imágenes y palabras, considerando que el uso de imágenes permitiría una mayor carga en la memoria activa (memoria de trabajo), pues la memoria activa trabajaría a partir de dos sistemas paralelos, uno asociado a las imágenes y el otro a la información auditiva, independientes entre sí, cada uno con una cierta carga de trabajo máxima.

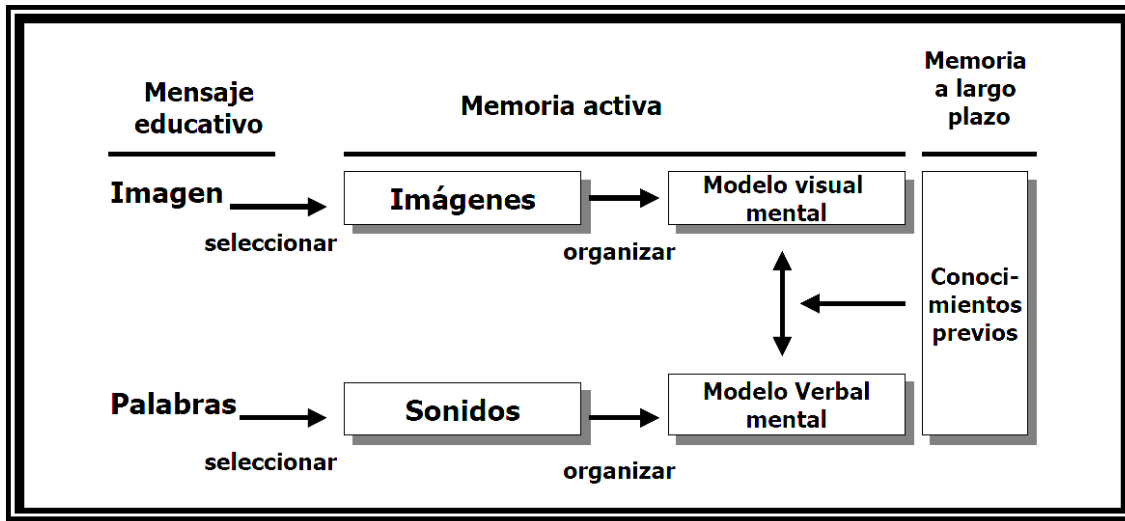


Figura 1: Modelo de aprendizaje constructivista SOI propuesto por Mayer, R. Imagen tomada de (Mayer, 2000)

De esta manera, al presentar información utilizando imágenes se permite liberar parte de la carga al sistema verbal.

Sin embargo debe pagarse un costo por la necesidad de entender las relaciones entre ambos tipos de información, por lo que debería evitarse el uso de elementos innecesarios, es decir, debería restringirse la información.

Durante el uso de la imagen, como en la argumentación verbal, debe cuidarse la aparición de elementos erróneos o contradictorios. Esto, sin embargo, implica una observación no sólo local de la imagen (observación de los elementos individuales que la componen), sino una observación más general (del conjunto de elementos y de las relaciones que guardan entre sí), y en su caso la no contradicción entre imagen y argumento verbal. Pero ello, a la vez, involucra una comprensión más profunda de lo que está siendo representado.

La explicitación del modelo mental que se usa para resolver una situación implicaría considerar representaciones externas asociadas con ambos canales (visual y auditivo), pero no porque los modelos mentales visuales se deban explicitar forzosamente con representaciones externas visuales y los modelos mentales

verbales deban ser asociados a las representaciones externas verbales o auditivas, sino porque se requieren diferentes tipos de representaciones externas, que se complementen unas a otras, para representar los modelos mentales visuales debido, sobre todo, a la naturaleza polisémica de la imagen.

### **2.2.3.7. Relación entre imagen, cambio conceptual y concepto.**

Proponer el uso de la imagen como representación de “conceptos físicos” o de “fenómenos físicos”, implica cuestionarse sobre el significado de *concepto*. Este problema tiene antecedentes históricos dentro de la filosofía y más recientemente ha sido planteado dentro de la investigación educativa, a raíz del boom del denominado “Cambio Conceptual” (di Sessa & Sherin, 1998) (Vergnaud, 2007).

Existen al menos dos posturas respecto a la manera en que debe trabajarse sobre la noción de *concepto*, aquellos que no se preocupan por establecer una definición y utilizan el término de manera “intuitiva” y quienes abogan por profundizar sobre la noción de *concepto*. Entre estos últimos, las propuestas de los “Campos conceptuales” (Vergnaud, 2007) y de las “Clases de coordinación” de di Sessa (di Sessa & Sherin, 1998) coinciden en la necesidad de llevar a cabo dicha profundización para abarcar tanto las situaciones como las acciones que los alumnos asocian con aquel.

En la propuesta de Vergnaud el *concepto* es más general y definido, en el sentido de que es considerado como *un conjunto de situaciones, un conjunto de invariantes operatorios, y un conjunto de formas lingüísticas y simbólicas* (Vergnaud, 2007, pág. 288). Y el trabajo de Vergnaud está dirigido principalmente hacia el proceso de formación conceptual o conceptuación.

Las clases de coordinación abarcan solamente un tipo de *concepto*, di Sessa (di Sessa & Sherin, 1998, pág. 1171) propone que la complejidad que se esconde tras la “observación” de un mundo complejo implica que se requiera un enjuiciamiento continuo y recuerda que toda observación tiene tanto bases teóricas como empíricas. Por ello trata de establecer cómo la “observación”, en diferentes situaciones, puede constituirse como la función central de los *conceptos* y afirma que el problema fundamental del *cambio conceptual* sería lograr cambiar la forma de “ver” de los sujetos.

Di Sessa propone el concepto de *clases de coordinación* a partir de dos características estructurales a las que denomina “Integración” e “Invariancia”:

Por *Integración* entiende que:

*“Para una situación dada, observaciones y aspectos múltiples deben ser coordinados para determinar la información”* (di Sessa & Sherin, 1998, pág. 1172)

Mientras que *Invariancia* la asocia con...

*“cómo observaciones en diferentes circunstancias pueden ser manejadas para determinar la misma información”* (di Sessa & Sherin, 1998, pág. 1176)

Estas características son consideradas necesarias para que los conceptos no sean confusos o incoherentes (di Sessa & Sherin, 1998, pág. 1172).

Desde esa perspectiva el razonamiento estaría basado en “bloques” básicos de razonamiento (fuentes), que deben ser coordinados al enfrentar una situación (problemática). Como ejemplo de esos bloques pueden citarse la habilidad de “mantener la atención” o la de “utilizar estrategias de búsqueda” como las que se asocian al comportamiento de los bebés para establecer el concepto de “permanencia” de un objeto. Un conjunto coordinado de bloques constituiría una “Red causal” (Causal net) que tendría la función de inferir, a partir de la información observable, cosas no directamente observables. En ese sentido las redes causales podrían ser el reemplazo para las “teorías detrás de las observaciones” (di Sessa & Sherin, 1998, pág. 1174).

Wittmann (Wittmann, 2002, pág. 99) plantea que la “red causal” es similar a lo que él denomina “*patrones de asociación*”. En ambas propuestas la diferencia entre expertos y novatos no estaría en la existencia de fuentes de razonamiento, sino en la organización de dichas fuentes en un todo coherente y rápidamente aplicable (Wittmann, 2002, pág. 99). Además:

*“La interface entre el mundo exterior y lo que el sujeto observa sería un filtro definido por las estrategias de lectura...Las estrategias de lectura definen cómo uno ve, aprovecha los elementos, o separa información en una situación...y describe cómo la observación del mundo exterior es llevada hacia elementos de significado del sujeto”* (Wittmann, 2002, pág. 100).

O, más específicamente:

*“Juntas, las estrategias de lectura y las redes causales describen una clase de coordinación, en el sentido que las redes causales de fuentes interconectadas establecen las estrategias de lectura que indican cómo una situación es interpretada”* (Wittmann, 2002, pág. 100)

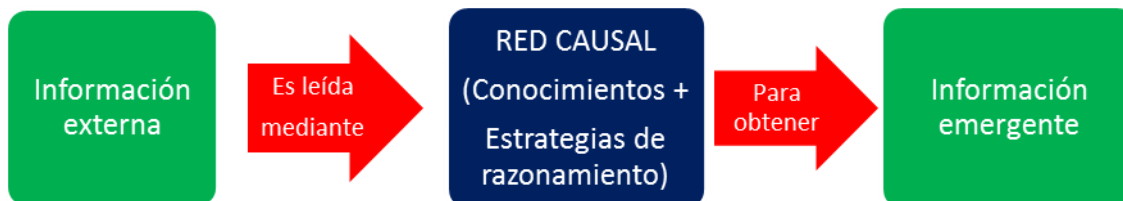


Ilustración 7: Modelo para entender la información emergente a partir de información externa a través de las redes causales, propuesto en el modelo de di Sessa.

Entre las estrategias de lectura se encuentran coleccionar, seleccionar o combinar diversas observaciones para determinar lo que se espera ver. Entonces cabe suponer que algunas de las dificultades de lectura pudieran estar en las diferencias en lo que

se colecta, lo que se selecciona o la forma en que se combina, entre novatos y expertos.

Debe considerarse además que, cuando se pide que el alumno resuelva una situación, influye la manera en que se interpreta la imagen pero también aquello que el alumno interpreta de lo que *debe* hacer con la imagen (la interpretación de las instrucciones). Esto último no depende únicamente de que dichas instrucciones estén “*bien redactadas*”, pues el mensaje es interpretado por el alumno utilizando sus conocimientos previos, sus estrategias de razonamiento y también el contexto y la intención que percibe del docente.

Siguiendo la propuesta de di Sessa, parece adecuado “describir las formas específicas en las cuales el sistema conceptual de los aprendices se comporta como el del experto y las circunstancias bajo las que se comporta de manera diferente que aquel” (di Sessa & Sherin, 1998, pág. 1170).

Si se considera que el cambio conceptual puede establecerse como una “nueva forma de ver”, entonces las actividades propuestas, cuyo objetivo sea el cambio conceptual, deberían fomentar esas nuevas formas de ver y parece razonable pensar que, para poder llevar al alumno a esas nuevas formas de ver, es necesario investigar cuáles son las diversas formas en que el alumno “ve”. Resulta pertinente, por lo tanto, crear actividades que permitan explicitar qué, cómo, por qué, cuándo y para qué el alumno ve.

Preguntas complementarias a lo anterior son: ¿qué cambiar?, ¿cómo cambiar? y ¿para qué cambiar?, referidas a la o las formas de ver que tiene el alumno.

La propuesta teórica de di Sessa, permite considerar algunos de los elementos básicos que se presentan durante la lectoescritura de la imagen. Así, parecería que los “conceptos” clave en la teoría de di Sessa son aplicables en un modelo relacionado con las dificultades en la lectoescritura de la imagen. Las *clases de coordinación* permiten proponer una discusión sobre el posible origen de las “dificultades” en el proceso de lectoescritura de la imagen. Cada actividad basada en lectoescritura de imágenes puede verse como una *situación* (problemática) que *debe ser* resuelta por el alumno a partir del uso de clases de coordinación (estrategias de lectoescritura y redes causales).

En las redes causales o en las estrategias de lectura asociadas estarían inmersas algunas de las dificultades de lectura y de escritura de la imagen, pues los mayores problemas de los alumnos no se encuentran en la capacidad para ver físicamente cosas relevantes del mundo físico sino en la red causal (di Sessa & Sherin, 1998, pág. 1178).

¿Podrían las redes causales y las estrategias de lectura (asociadas con una actividad) servir como guías para establecer una categorización de las dificultades de lectoescritura de la imagen en física? ¿De qué manera?, ¿deberíamos pensar el

problema al revés, es decir, que las dificultades en la lectoescritura explicitadas por medio de las actividades propuestas, constituyen una forma de establecer cuáles son las estrategias de lectura o las redes causales utilizadas por los estudiantes?

La respuesta no es clara, pues ¿cómo conocer las Estrategias de Lectura y las Redes Causales o las dificultades de lectoescritura antes de plantear las actividades?

Una posibilidad es que las dificultades que se desea catalogar deban ser entendidas como las diferencias entre lo que hacen los novatos y lo que hacen los expertos, es decir, las diferencias en las redes causales o en las estrategias de lectura usadas por ambos grupos.

Pero, como señala di Sessa, en una situación pueden intervenir varias clases de coordinación, entonces también debería considerarse que la dificultad podría estar en la coordinación entre las distintas clases intervinientes (lo cual en este momento no sé si es en sí misma una clase de coordinación o debe considerarse una metaclasses de coordinación).

Por otro lado, en las actividades que se proponen, los alumnos no son directamente expuestos a la situación física (como en algunos ejemplos que propone di Sessa), sino a una representación de dicha situación. Lo que estamos detectando son las dificultades que los alumnos tienen al leer esas representaciones, no el fenómeno en sí mismo (esto incluso en el caso de algunas prácticas experimentales).

Muchas veces la interpretación del texto (enunciado del problema) parece constituir un problema en sí mismo, que sería de índole diferente al que debe enfrentarse ante un fenómeno físico “in vivo”. ¿Deben los alumnos utilizar una clase de coordinación específica para entender el enunciado? Si fuera así, se requeriría utilizar una clase de coordinación que ayude a entender el enunciado en coordinación con una clase de coordinación que permita leer la información visual no textual para solucionar el problema.

#### **2.2.3.8. Aspectos a considerar para una posible categorización de las dificultades en la lectoescritura de la imagen.**

Las clases de coordinación corresponden con un sólo tipo de conceptos (di Sessa & Sherin, 1998, pág. 1177) (aquél que implica una coordinación), no así a los conceptos que pueden establecerse con base en un ejemplo. Quizás las clases de coordinación de di Sessa podrían relacionarse de manera directa con lo que Gadgil, Nokes-Malach y Chi entienden por “modelos mentales”. Para estos autores (retomando las propuestas de Genter y Stevens y de Johnson-Laird)

*“Un modelo mental es una representación construida por el aprendiz que le permite hacer inferencias y razonar cualitativamente sobre un proceso o sistema” (Gadgil, Nokes-Malach, & Chi, 2012, pág. 48)*

En ese sentido las dificultades asociadas con las clases de coordinación de di Sessa podrían equipararse a los modelos mentales fallidos planteados por Gadgil, Nokes y Chi.

En su propuesta, Gadgil et al plantean la existencia de tres niveles de complejidad asociadas con las “fallas” del conocimiento. Estos niveles comprenderían las “creencias”, los “modelos mentales” y las “categorías ontológicas” de las personas (Gadgil, Nokes-Malach, & Chi, 2012, pág. 48).

De los tres niveles de complejidad, las “creencias falsas” serían las más sencillas de cambiar pues no requieren reestructuraciones radicales sino que corresponderían a “equivocaciones aisladas”, potencialmente sustituibles “puntualmente” sin modificar la estructura de conocimiento.

Los modelos mentales tienen, al igual que las clases de coordinación, una estructura cohesiva integrada y no consisten sólo en una colección de creencias individuales, sino que incluyen interrelaciones complejas entre proposiciones (Gadgil, Nokes-Malach, & Chi, 2012, pág. 48), lo que al menos parece similar a las “Redes Causales”, aunque Gadgil et al no mencionan explícitamente algo equivalente a las “Estrategias de Lectura” planteadas por di Sessa.

Los modelos mentales podrían ser “defectuosos” debido a las proposiciones individuales o a las interrelaciones entre ellas. Así, sería menester investigar tanto las proposiciones como las interrelaciones que las ligan. La propuesta de Gadgil et al. para el cambio conceptual en este nivel establece que el cambio de un modelo mental defectuoso será facilitado si se contrasta el sistema de relaciones de dicho modelo con el sistema de relaciones del modelo correcto, proceso al que denominan “Confrontación holística” (Gadgil, Nokes-Malach, & Chi, 2012, pág. 49).

El trabajo de Gadgil et al. da una base empírica para categorizar (aunque sea de manera muy burda) los tipos de errores conceptuales, pero centra su atención en un aspecto distinto que di Sessa, pues propone una posible estrategia para el cambio, utilizando la imagen como elemento externo para un proceso de aprendizaje tal vez más cercano a la metacognición.

A diferencia de di Sessa, Gadgil et al. no ponen énfasis en las dificultades al “leer” una imagen, sino que se enfocan en el uso que puede darse a la imagen para facilitar el cambio conceptual. Comparación y Contraste (elementos básicos de la “Confrontación holística”) (Gadgil, Nokes-Malach, & Chi, 2012, pág. 57) no son propiamente objeto de estudio para Gadgil, no obstante, parecerían ser una línea a seguir si se pretende el cambio de los modelos mentales que proponen (¿qué dificultades surgen cuando se pide a los alumnos comparar y contrastar dos imágenes?) y podrían formar parte de una categorización de las dificultades asociadas con el uso de la imagen.

### 2.2.3.9. Uso de la imagen y gradación del aprendizaje

Una línea diferente que podría incidir directamente en la manera en que los alumnos interpretan la información ha sido planteada por Stella Vosniadou (Vosniadou & Ioannides) quien considera el aprendizaje

*“un proceso gradual por el que las estructuras conceptuales iniciales basadas en las interpretaciones que los niños hacen de su experiencia diaria es continuamente enriquecida y reestructurada”* (Vosniadou & Ioannides, pág. 1213)

Según Vosniadou, las presuposiciones de los niños están organizadas en estructuras que denomina *“teoría de estructura de soporte”* (framework theory), que se dividen en dos categorías: la ontológica y la epistemológica y que constriñen el proceso de adquisición de conocimiento sobre el mundo físico de manera análoga a como se piensa que los paradigmas (de Khun) constriñen la investigación científica (Vosniadou & Ioannides, pág. 1216).

Paralelamente a la *“Teorías de estructura de soporte”* los niños construyen *“Teorías específicas”* (Specific Theory)

*Las “Teorías específicas” consisten en un conjunto de proposiciones o creencias que describen las propiedades y comportamiento de los objetos físicos. Las creencias son generadas a través de la observación y/o a través de la información presentada por la cultura bajo las constricciones de la “Teoría de estructura de soporte”* (Vosniadou & Ioannides, pág. 1217)

Según la misma autora, los modelos mentales son un elemento de las teorías específicas derivados de las creencias bajo las constricciones de la *“Teoría de estructura de soporte”* (Vosniadou & Ioannides, pág. 1216). Para Vosniadou los modelos mentales son

*“...un tipo especial de representación mental...que los individuos generan durante el funcionamiento cognitivo y que tiene la característica de preservar la estructura de aquello que quiere representarse. Son representaciones dinámicas que pueden ser manipuladas mentalmente para proveer explicaciones causales de un fenómeno físico y para hacer predicciones sobre el estado de cosas en el mundo físico.”* (Vosniadou & Ioannides, pág. 1217)

Según sus investigaciones, hay un número relativamente pequeño de tipos de modelos mentales a los que denomina *“Tokens”*, que por otro lado recuerdan a los *“Bloques”* de la propuesta de di Sessa.

El trabajo de Vosniadou, aunque ha sido realizado con niños, invita a pensar en el papel que juega la cultura en las formas de ver. Al relacionar a Vosniadou con di Sessa, parecería que la cultura podría influir tanto en las estrategias de lectura como



en las “redes causales”; Si bien las creencias son generadas a través de la observación, la observación está a su vez moldeada por la cultura, no como aspectos separados (lo que parecería desprenderse de la propuesta de Vosniadou). Si ese fuera el caso, las dificultades que se presentan en el uso de la imagen podrían relacionarse con los aspectos culturales, pero también con los aspectos epistemológicos y ontológicos mencionados por Vosniadou; lo que se “ve” en la imagen estaría fuertemente influenciado por lo que “parece importante ver”. Además, la propuesta de Vosniadou sobre el aprendizaje como un proceso gradual parece también aplicable al caso de las dificultades en el uso de la imagen, pues dichas dificultades deberían entenderse como elementos a superar de manera gradual o como indicativos del estado del proceso de lectoescritura de la imagen que ha alcanzado el alumno.

#### **2.2.4. ASPECTOS SEMIÓTICOS RELACIONADOS CON LA LECTOESCRITURA DE LA IMAGEN DURANTE EL PROCESO ENSEÑANZA APRENDIZAJE DE LA FÍSICA.**

La Semiótica estudia la interpretación y producción del sentido y en general los sistemas de comunicación dentro de las sociedades humanas. La importancia de considerar la perspectiva semiótica dentro de la educación ha sido considerada por varios autores (Tamayo Alzate, 2006) (Caivano, 2005). (Otero, 1999), y es relativamente directo pensar que si se considera al proceso enseñanza aprendizaje como un proceso en el que la comunicación es fundamental, la semiótica se torna ciertamente imprescindible.

La semiótica se divide en tres categorías: semántica, sintáctica y pragmática. La sintáctica estudia las reglas y principios utilizados para construir expresiones que puedan ser interpretadas, aunque en sí misma no permite atribuir significados.

Esta definición establece una relación directa entre sintáctica y semántica, pues los elementos de interés sintáctico son aquellos que tienen repercusiones en el ámbito de la semántica. Es decir, aunque centremos el análisis de una imagen en los aspectos sintácticos, los criterios para “ver”, y filtrar la información visual deben considerar, al menos teóricamente, los aspectos semánticos.

Como contraparte de lo anterior se considera la semántica como el estudio del significado relacionado con expresiones sintácticamente bien formadas.

La semántica examina el modo en que se atribuyen significados a las palabras, sus modificaciones a través del tiempo y las transformaciones hacia nuevos significados. Según de Vega, citado por Otero (Otero, 1999, pág. 97), el *carácter semántico* de una representación proposicional (interna), se adquiere porque representan conceptos y relaciones entre conceptos.

Esta última idea puede ser aplicada de manera análoga en el caso de las imágenes externas usuales en física. Acorde a ello, se buscarían en una imagen externa los conceptos y las relaciones entre conceptos representados en ella.

Aunque los conceptos y sus relaciones no son directamente “visibles” en una imagen visual externa aislada, el análisis sintáctico acompañado por constricciones que pueden estar dadas mediante el uso de representaciones múltiples, incluidas representaciones textuales, permitiría inferir con cierto grado de certidumbre las características conceptuales y relacionales que se intentan representar.

#### **2.2.4.1. Análisis sintáctico de la imagen externa**

Según Ainsworth (Ainsworth, 2008, pág. 196), señala que la competencia más básica que los aprendices deben desarrollar es la sintaxis representacional, donde debe entenderse cómo una representación codifica y presenta la información.

Dondis (Dondis, 2000, pág. 53), considera que, para la Gestalt, la comprensión y el análisis de cualquier sistema requiere reconocer al sistema como un todo constituido por partes interactuantes, que pueden aislarse y estudiarse en completa independencia para después recomponerse y donde no es posible cambiar una sola unidad del sistema sin modificar el conjunto. Si se considera que las representaciones de conceptos y fenómenos físicos constituyen sistemas, la imagen puede ser pensada a su vez como sistema, lo que implica analizarla considerando el todo y también los elementos que la componen.

Una labor del análisis sintáctico es el poder establecer y analizar los elementos que están presentes en una representación, el conjunto de elementos y las relaciones (espaciales) que existen entre ellos.

Desde la perspectiva de la Comunicación Visual, los *elementos visuales básicos* son: “*punto, línea, contorno, dirección, tono, color, textura, dimensión, escala y movimiento*” (Dondis, 2000, pág. 53).

Otero (Otero M. R, 1999, pág. 98), plantea que:

*“La percepción es un proceso de reducción de información en el cual un conjunto caótico de sensaciones son reducidas a una forma más simple y organizada, este proceso re organizativo genera nuestras percepciones estructurándolas en unidades correspondientes a objetos y a propiedades de los objetos. Estas grandes unidades pueden ser almacenadas y más tarde ensambladas como imágenes, que se experimentan como entidades casi pictoriales”.* (Otero M. R, 1999, pág. 98)

Proponemos considerar otro tipo de *unidades elementales*, dependientes del contexto disciplinario al que pertenece el concepto o proceso que se representa. Estas unidades se forman a partir de relaciones entre algunos elementos visuales básicos, pero deben ser considerados como unidades por tener características invariantes (como las letras en el caso de la escritura). En física, estas unidades podrían

denominarse **elementos visuales básicos en física** y serían los componentes mínimos a los que, desde la perspectiva de algún área de la física se les puede asociar un significado físico. Por ejemplo, en mecánica un elemento visual básico en física es la *representación gráfica de vectores*, que comúnmente coincide con la forma de una “flecha” (que está compuesta por tres secciones rectilíneas, pero que puede ser percibida como una unidad), en los fenómenos ondulatorios las curvas en forma de “U” que representan medias longitudes de onda y en circuitos eléctricos las líneas en forma de zigzag que representan la resistencia eléctrica.

Durante la *lectura* de una imagen visual externa, el lector debe realizar una serie de actividades cognitivas que incluyen la percepción y la interpretación. Dichas actividades se pueden explicar poniendo énfasis en los aspectos sintácticos o semánticos, pero en la práctica ambos aspectos están entrelazados.

Desde un análisis sintáctico no se considera explícitamente el “*significado*” de la unidad, pero sí la forma en que los elementos se presentan en la imagen; su forma, su ubicación espacial y su relación con otras unidades. En ese sentido se pone énfasis en la cualidad de los elementos como objetos sobre su característica representacional. Existen casos donde, desde la perspectiva sintáctica, los elementos visuales básicos coinciden para dos áreas, pero difieren fuertemente desde la perspectiva semántica, por ejemplo como ocurre con las gráficas funcionales en matemáticas y en física. Por ello es importante considerar que el análisis sintáctico no es suficiente para considerarlo un análisis representacional, sino que debe complementarse con otros tipos de análisis.

Pensamos que algunas de las dificultades asociadas con el uso de la imagen durante el proceso enseñanza aprendizaje pueden ser catalogadas como de “naturaleza sintáctica” o de “naturaleza semántica”, pero debido a que hasta ahora es difícil *observar directamente* los procesos cognitivos<sup>4</sup>, los procesos se infieren a partir de “evidencias externas”.

En el caso de la lectura de imágenes un primer proceso que el lector debe llevar a cabo es *Percibir*. La percepción, en este sentido, es considerada como la acción de recibir información a través de los sentidos.

En una imagen externa que representa un concepto o fenómeno físico lo que debe percibirse son los **elementos visuales básicos en física** y las *relaciones* entre ellos.

Las evidencias externas (con las que se puede inferir que el lector está percibiendo) implican ciertas acciones que tienen en común la exteriorización, acción que se da mediante representaciones externas; verbales, visuales u otras conductas observables.

---

<sup>4</sup> Se han realizado estudios sobre el metabolismo neuronal que indican la actividad de zonas específicas del cerebro, que a su vez han sido relacionado con diferentes funciones cerebrales, pero aún no se establece exactamente la correspondencia entre procesos cognitivos y función neuronal.

Ejemplo de acciones que constituyen evidencias externas relacionadas tanto con los elementos representacionales como las relaciones entre ellos son:

- Enumerar
- Describir
- Localizar (por ejemplo señalándolos)
- Seleccionar
- Nombrar o Mencionar
- Reproducir

El que un individuo haya *visto* un elemento (i.e. sabe que hay algo ahí) no significa que el elemento ha sido percibido en un sentido más profundo; es decir como unidad, conservando todos los elementos visuales básicos que lo caracterizan (sabe lo que hay ahí). Menos aún, significa que ha entendido aspectos conceptuales profundos, por ejemplo lo que el elemento significa individualmente desde la perspectiva de la física, o cuál es el papel que ocupa como representante dentro del contexto de la representación (es decir, el papel que su análogo juega en el mundo representado).

La importancia del análisis nivel sintáctico se puede enfatizar en dos aspectos:

- Los significantes, que en mayor o menor grado son “convenciones”, deben ser compartidos para lograr una comunicación eficaz. El análisis sintáctico permite establecer el grado en que los elementos visuales básicos en física utilizados por los alumnos, son compartidos con el resto de su comunidad de enseñanza-aprendizaje y con los utilizados por la comunidad científica.
- La presencia o ausencia de elementos visuales básicos en física, las mutaciones respecto al referente científico o su uso inadecuado, se puede asociar con el nivel de construcción conceptual, por lo que pueden ser indicadores de deficiencias conceptuales.

A posteriori, cuando el aprendiz debe emitir un mensaje con contenido asociado con el concepto físico (es decir, cuando usa los elementos visuales básicos en física para establecer un mensaje), dicho mensaje puede ser considerado como una evidencia no sólo del desarrollo de su capacidad de escritura, sino también de su capacidad lectora. Podría suponerse que la percepción de los significantes ha sido *correcta* si en las evidencias, se observa que:

- el conjunto de elementos usados en la representación logran hacer de ella un mensaje donde el sentido pueda ser recuperado por otros (es decir, si los elementos y sus relaciones pueden ser decodificados)
- cada uno de los elementos básicos usados está representado según la convención aceptada por la comunidad científica.
- el sentido del mensaje se corresponde con el sentido de la representación científica asociada al concepto o proceso referente.

Una prueba en ese sentido es considerada *suficiente*, más no *necesaria* para decir que el alumno ha percibido y entendido los elementos visuales a nivel sintáctico.

#### 2.2.4.2. Análisis semántico de la imagen externa

Con la “representación como objeto”. existen diferentes niveles de interpretación, en particular pueden considerarse interpretaciones “personales” e interpretaciones “científicas”.

La perspectiva personal y la perspectiva científica pueden estar presentes en el alumno sin embargo éste puede o no hacer una disociación entre ambas.

- Desde la perspectiva “personal”:
  - En algunos casos los alumnos no distinguen entre ambos tipos de interpretación. La interpretación es subjetiva sin considerar otras posibilidades y sin incorporar o incorporando parcialmente, elementos del contexto científico. Los significados de los elementos presentes y/o el sentido de la representación son distintos a los significados de los elementos en el contexto específico de la ciencia.
  - En caso de que los alumnos consideren la existencia de las dos interpretaciones es posible que consideren la interpretación científica como ajena a ellos. La interpretación “científica” la asocian con la intención del maestro, más que con la “realidad”. Un ejemplo de esto puede verse en frases como “lo que yo creo es...pero según usted...”, “...hago esto porque Ud. dice que...pero en realidad...”
- Desde la perspectiva “científica” se requiere:
  - Compartir códigos: La codificación puede estar en el color, en los elementos individuales, en la forma, en la posición, etc. En física los elementos representan variables físicas u objetos asociados con fenómenos o procesos :
    - Ainsworth menciona que esto se relaciona con el *formato* de la representación (gráfica, dibujo, etc.) además de los *atributos (elementos)* y los *operadores* (por ejemplo cómo encontrar gradientes o máximos y mínimos). Dentro de las dificultades Preece (1993) citado por Ainsworth (2008) ejemplifica con la confusión que tienen alumnos entre puntos e intervalos.
  - Reconocer la intención del emisor, que en el caso de la enseñanza puede ser quien crea un mensaje utilizando imágenes, por ejemplo el maestro.

- Contextualizar: El contexto marca un sentido o constriñe la interpretación.
  - Dificultades al contextualizar pueden ocurrir, por ejemplo, en la extrapolación inapropiada de los operadores utilizados desde un formato de representación a otro. Por ejemplo, una “flecha” puede simbolizar un proceso en un formato de representación o un vector en otro.
- Valorar: Si la imagen representa lo que se desea. Si permite entender la idea, etc.

## **2.2.5 PROPUESTA DE UN MODELO INTEGRADOR PARA EXPLICAR LAS DIFICULTADES ASOCIADAS A LA LECTOESCRITURA DE LA IMAGEN DURANTE EL PROCESO ENSEÑANZA APRENDIZAJE DE LA FÍSICA**

Nota: Esta propuesta es un resultado del trabajo de tesis. No se ha incluido en la sección de resultados porque se considera parte del marco teórico, que sirve como referencia para organizar y entender los otros resultados.

### **2.2.5.1. Objetivo del modelo**

El modelo es una primera aproximación con la que se pretende explicar el papel de la imagen dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje de la física y las dificultades que conlleva su lectoescritura desde una perspectiva docente.

### **2.2.5.2. ¿Por qué puede ser útil el modelo?**

El modelo considera el uso de la imagen durante el proceso enseñanza-aprendizaje de manera holística. Esto corresponde con la perspectiva del maestro, que requiere una vista panorámica del proceso.

El modelo permite “localizar” en esa “panorámica” algunas posibles fuentes de dificultad en la lectoescritura de imagen cuando se le usa para la comunicación y la representación de conceptos y fenómenos físicos.

La lectura y escritura de la imagen en sí mismas, son consideradas *situaciones* en el sentido dado por Vergnaud, pero también acciones a realizar para solucionar otras acciones más complejas. En ese contexto, la lectura y la escritura de imágenes pueden descomponerse en diferentes sub tareas o bien pueden ser sub tareas de una situación más amplia.

Esta postura permite considerar distintas escalas de análisis, cada una susceptible de ser analizada a partir de los aspectos semióticos o semánticos.

### 2.2.5.3. Supuestos del modelo

A continuación se presenta una lista de supuestos que son base para el modelo.

- La imagen es una manera complementaria al lenguaje verbal para comunicar y representar conceptos, procesos y fenómenos físicos, lo que la hace no sólo útil, sino necesaria durante el proceso enseñanza aprendizaje de la física.
- El uso de la imagen (en sus diferentes modalidades) es, en sí mismo, una *situación* que debe ser resuelta, lo que implica la acción del sujeto.
- La *lectura y escritura* de distintos tipos de representaciones externas, entre los que se incluyen las imágenes, son acciones que el sujeto debe realizar para comunicarse o representar externamente conceptos, procesos o fenómenos físicos.
- Lectura y escritura son guiadas por la situación, por el contexto (mediato e inmediato), por las ideas y conocimientos previos, por la intención, por las creencias y valores, etc.
- Lectura y escritura son tareas *complejas* y pueden descomponerse en una serie de tareas cognitivas más básicas, que deben ser coordinadas por el sujeto.
- El conocimiento científico es tanto un *constructo individual y social*, que evoluciona a partir de la interacción entre personas pero es el individuo quien finalmente le da sentido.
- Los *modelos conceptuales (científicos)* son parte del conocimiento científico y requieren tiempo para ser construidos.
- Los modelos científicos utilizan representaciones visuales externas para representar elementos o relaciones entre elementos del modelo.
- Los alumnos utilizan modelos mentales o esquemas durante la solución de situaciones problemáticas, éstos implican modelos verbales y modelos visuales que a son complementarios entre sí.
- Los *conceptos* son *tripletes* (situaciones, invariantes, formas de lenguaje).
- Los conceptos de los alumnos pueden evolucionar durante el proceso enseñanza aprendizaje.
- Un objetivo de la enseñanza es que la evolución de los conceptos en los alumnos vaya en la dirección de aproximarlos hacia los conceptos aceptados por la ciencia.
- No es posible que dos sujetos compartan al 100% un *mismo* concepto. Se requiere cambiar la visión unívoca por una perspectiva analógica del aprendizaje y evaluación de los conceptos, y de la comprensión que los alumnos logran sobre los procesos y fenómenos físicos.
- El uso de la imagen durante el proceso enseñanza aprendizaje tiene beneficios, pero también implica un conjunto de dificultades que deben solucionarse.
- Es el sujeto quien presenta dificultades en la lectoescritura de la imagen, pero ello no implica que él sea el origen o fuente de dichas dificultades.

- El origen de las dificultades en el uso de la imagen como representación y durante la comunicación de conceptos, procesos y fenómenos físico puede ser “interno” o “externo” al sujeto, por lo que deben considerarse complementariamente ambas posibilidades.
- Es posible analizar el origen externo de aquellas dificultades a partir de las teorías de la comunicación, mientras que el origen interno puede ser analizado a partir de las teorías cognitivas. Ambos tipos de explicaciones deben complementarse para entender las dificultades en el aula.
- Existen al menos dos niveles para el análisis de las dificultades asociadas con el uso de la imagen cuando utiliza para la representación conceptual: el sintáctico y el semántico. El análisis de ambas es complementario y su intersección no vacía.
- El análisis sintáctico y semántico puede realizarse a partir del análisis de los elementos visuales básicos presentes en las representacionales, pero deben considerarse formas para constreñir la interpretación.

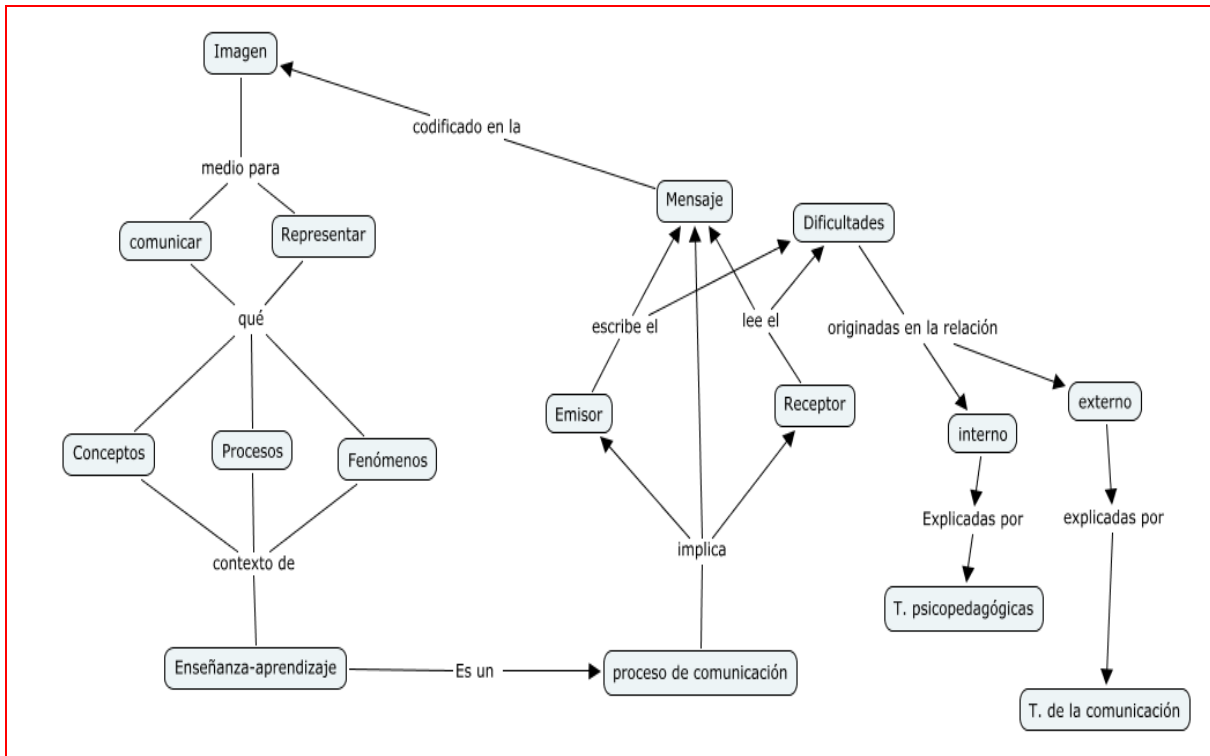


Ilustración 8: Mapa conceptual sobre el papel de la imagen y su estudio dentro del proceso enseñanza aprendizaje.



#### **2.2.5.4. Descripción de los elementos involucrados en el modelo teórico para estudiar la relación entre la imagen y el proceso enseñanza aprendizaje de la física.**

Entre los diferentes elementos presentes en el modelo se incluyen las representaciones visuales internas y las representaciones visuales externas. Las representaciones visuales externas se utilizan fundamentalmente dentro del acto de comunicación como maneras para codificar los mensajes, por medio de los cuales el maestro representa conceptos, procesos o fenómenos físicos, pero también evalúa las construcciones intelectuales de los alumnos.

Se consideran dos aspectos de la construcción del conocimiento, la social y la individual. Ambas están directamente influenciadas por el contexto, que incluye al paradigma científico y también por las ideas previas, los conocimientos, las expectativas y la intención de alumnos y maestros.

Al enfrentar una situación, los alumnos utilizan esquemas que ya tienen o, en caso de no lograr el resultado deseado crean modelos mentales que los llevan, a mediano plazo a la creación de nuevos esquemas.

Las representaciones visuales son análogas a la realidad, pero el grado de analogía es variable, e incluso se puede llegar a la representación abstracta, donde la analogía estructural se difumina.

El concepto es visto como un triplete de situaciones, invariantes operatorios y representaciones. Esto, junto con las nociones constructivistas, lleva a plantear la necesidad de una evaluación gradada. El nivel de analogía entre el concepto construido por el alumno y el concepto "científico" se establece como una medida de la gradación, siendo el segundo un referente para la gradación.

Se plantea una evaluación a partir de los elementos sintácticos y de las relaciones entre dichos elementos, considerándola como un nivel "bajo" de construcción en comparación con los aspectos semióticos, pero que son mucho más difíciles de evaluar.



### **2.2.5.5 Relación del modelo con las dificultades asociadas a la lectoescritura de la imagen durante el proceso enseñanza aprendizaje de la física.**

El modelo establece que el proceso de enseñanza aprendizaje puede verse desde dos perspectivas complementarios; la construcción del conocimiento como un acto de comunicación entre individuos y la construcción que el individuo realiza en su interior. Es en estos dos ámbitos en los que pueden buscarse las dificultades en la lectoescritura de la imagen.

¿Qué?, ¿Cómo?, ¿Cuándo?, ¿Para qué?, son preguntas clave que el alumno debe plantearse y de alguna manera contestar cuando trabaja con imágenes, por ejemplo, ¿Qué debe verse en la imagen? ¿Cómo puede extraerse la información contenida en ella? ¿Cuándo debe utilizarse esa información? ¿Para qué sirve esa información?

Como ser social, los aspectos más relevantes que originan las dificultades parecen estar localizados en los usos “impuestos” desde afuera. El alumno debe aprender a leer y escribir con imágenes utilizando códigos preestablecidos que son convenciones gremiales, con fines también marcados desde fuera: extraer información, seleccionar información, representar información, aplicable a la solución de un problema dentro del contexto disciplinario. Pero esos mismos fines son “comprendidos” a partir de la intención y del contexto, muchas veces parcial o totalmente implícitos. Un alumno que desconozca los códigos presentará dificultades para interpretar la imagen, pero también habrá dificultades si la intención no es compartida. El alumno entiende o no el mensaje escrito por el maestro; logra o no captar la intención del maestro para con la tarea; conoce o no los elementos contextuales; aplica o no sus conocimientos y habilidades de manera adecuada; en suma realiza o no la tarea que le ha sido encomendada en la forma que se espera que sea realizada.

En lo individual, la naturaleza situacional de la lectura y la escritura debe enfocarse desde la perspectiva interna. El alumno logra o no asociar la situación con un esquema pertinente; establece o no objetivos, sub-objetivos y anticipaciones adecuados, son o no aplicables las reglas de acción, de toma de información y de control, del esquema seleccionado a la situación en turno; sus conceptos en acto y sus teoremas en acto corresponden o no con conceptos y teoremas científicamente aceptados, etc. O en caso de que el esquema aplicado resulte inapropiado, de tal manera que no llega a la solución, logra o no imaginar nuevas rutas de solución y llevarlas a la práctica a pesar de la frustración inicial.

Finalmente, el modelo plantea el uso del análisis semiótico en sus dos aspectos; sintáctico y semántico, como una forma para estudiar el nivel de desarrollo conceptual, considerando tanto el mundo representante a través de los significantes (elementos u relaciones entre elementos) como las relaciones que aquél mantiene con el mundo representado.



### **2.2.5.6. Descripción de la evaluación de las representaciones visuales externas realizadas por los alumnos al representar conceptos, procesos o fenómenos físicos desde la perspectiva del modelo presentado.**

El maestro propone actividades que constituyen un *mensaje* que debe ser interpretado por el alumno. La interpretación se da a partir las capacidades de lectoescritura, lo que implica el uso de ideas y conocimientos previos (disciplinares y contextuales), habilidades y creencias y valores.

Las actividades propuestas son *situaciones* que implican el *uso de la imagen* para *representar o comunicar conceptos y procesos* asociados con fenómenos físicos. La información se *codifica* en diferentes *formatos de representaciones externas*, que deben ser coordinadas mediante la *lectoescritura*. Su solución requiere el uso de *esquemas* o de *modelos mentales* que involucran diversas *tareas cognitivas* relacionadas con la *lectura y escritura de imágenes externas* y con *procesos cognitivos* que implican el *procesamiento o transformación* de dicha información.

Considerando la noción de *concepto* (de Vergnaud), una evaluación de *imágenes externas que representan conceptos físicos* conlleva el análisis de diferentes aspectos.

La *evaluación de imágenes externas* puede establecerse desde el *nivel sintáctico* o desde el *nivel semántico*.

El análisis de *imágenes externas* hecho desde el nivel sintáctico permite detectar y clasificar algunas *dificultades* asociadas con la *escritura* de los *elementos visuales básicos en física* o con las *relaciones espaciales* entre dichos elementos.

El análisis *semántico* es más complicado, pues requiere tomar en cuenta tanto las imágenes como las explicaciones verbales que las acompañan. La imagen es polisémica por naturaleza y las explicaciones verbales constriñen la interpretación, así como permiten considerar elementos no explicitables directamente mediante imágenes.

La clasificación requiere crear *categorías gradadas*, para establecer el *grado de desarrollo* del concepto. Este se propone a partir del *nivel de iconicidad* que guardan las *representaciones externas* realizadas por los alumnos respecto a las *representaciones externas* aceptadas por la comunidad científica, consideradas como *referentes*.

Un *grado de iconicidad* bajo permite suponer que el alumno tiene *dificultades* para usar la imagen como representación del concepto o fenómeno. Dichas dificultades deben ser descritas y explicadas pues posiblemente el concepto no ha sido construido satisfactoriamente o no ha adquirido el nivel requerido para resolver la situación propuesta. Sin embargo un grado de iconicidad alto no implica que el concepto ha sido adquirido satisfactoriamente.

El análisis *sintáctico* de la imagen externa se establece a partir del estudio de los elementos visuales que componen la imagen, así como de las relaciones que guardan entre ellos.

Un análisis más profundo requiere considerar el nivel *semántico* de la representación. Esto puede facilitarse a partir de situaciones que impliquen el uso de *representaciones múltiples*, por ejemplo pidiendo a los alumnos que paralelamente al uso de la imagen realicen una explicación textual, lo que permite *constreñir la interpretación*.

El análisis semántico, cuando se asocia situaciones que implican el uso de imágenes que representan conceptos o fenómenos físicos, puede buscar explicitar *modelos mentales, teoremas en acción, conceptos en acción*, u otros elementos ya sean de la *memoria a corto plazo* o de la *memoria a largo plazo*.

### 3. PROPUESTA METODOLÓGICA

El estudio es de tipo exploratorio y descriptivo, considerando las teorías constructivistas del aprendizaje como base. Según éstas, el aprendizaje significativo es consecuencia de una construcción del individuo, que interacciona activamente con el material y su entorno social, estableciendo relaciones entre los conocimientos previos y el nuevo material de estudio.

Para la obtención de información se utilizó el análisis de documentos y la entrevista. Los documentos consistieron de actividades con lápiz y papel creadas específicamente para el estudio, donde se consideró como eje central el uso de la imagen en diferentes modalidades.

Dado que el objetivo implica la detección, clasificación y análisis de las dificultades presentes durante el proceso de lectoescritura de la imagen en física, se ha considerado una subdivisión en tres niveles:

- Detección de dificultades asociadas con la lectoescritura de la imagen en física.
- Clasificación de las dificultades detectadas.
- Planteamiento de implicaciones para la enseñanza y para el aprendizaje de la física.

#### 3.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN

El estudio fue realizado a lo largo de tres semestres con grupos de física introductoria (uno por semestre), en el Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur de la Ciudad de México. Cada grupo consistía de 27 y 28 estudiantes de ambos sexos, con edades en el rango de 15 a 18 años, siendo la moda 16. Durante el segundo y tercer semestre de la investigación se trabajó con el mismo grupo de alumnos, abarcando temas de Mecánica, Termodinámica, electromagnetismo y física contemporánea.

#### 3.1.2. ETAPAS DEL ESTUDIO

El estudio se dividió en tres etapas:

- Durante la primera etapa se propusieron actividades donde se requería representar e interpretar. Por ejemplo, se pidió a los alumnos representar conceptos mediante dibujos, comparar imágenes, seleccionar entre distintas representaciones, traducir entre diferentes niveles de iconicidad. Así mismo se requería que el alumno explicara sus selecciones y representaciones según fuera el caso. En esta etapa no se utilizaron simuladores. Los temas correspondieron a Movimiento Ondulatorio, electrostática, electrodinámica, magnetostática y electromagnetismo.

- En la segunda etapa, adicional a las actividades del tipo propuesto en el primer semestre, se plantearon situaciones problemáticas que implicaban la lecto-escritura de representaciones planas del movimiento, por ejemplo; interpretar elementos constitutivos de un dibujo que representa el movimiento de un objeto, asociar representaciones pictóricas móviles (animaciones) con gráficas de movimiento, reconocer e interpretar las variables físicas a partir de una simulación dinámica de movimiento, interpretar gráficas de posición contra tiempo, velocidad contra tiempo, aceleración contra tiempo y energía contra tiempo, etc. La lectura e interpretación abarcaba diferentes niveles de abstracción. Paralelamente a ello se utilizaron las representaciones pictóricas realizadas para detectar ideas previas. Aunque se incluyó el uso de simuladores estos no formaron parte explícita de la evaluación/calificación.
- En la tercera etapa fueron analizados dos aspectos: a) el uso sistemático de simuladores como herramienta de apoyo para el aprendizaje conceptual (particularmente las simulaciones de la Universidad de Colorado at Boulder (Phet)), y b) el desarrollo de criterios para evaluar las representaciones visuales externas (dibujos) de conceptos físicos realizadas por los alumnos.
- Complementariamente a lo anterior, al inicio y al final de la tercera etapa se aplicó un cuestionario etapa para investigar las creencias que los alumnos tenían sobre el uso de la imagen durante el aprendizaje de la física y si éstas se habían modificado.

### 3.1.3. ESTRUCTURA DE LA CLASE DURANTE LA INVESTIGACIÓN

ETAPA 1: La estructura preestablecida de cada módulo (planeada por el profesor titular del grupo) consideraba una secuencia de actividades, que mantenían aproximadamente el siguiente orden y características:

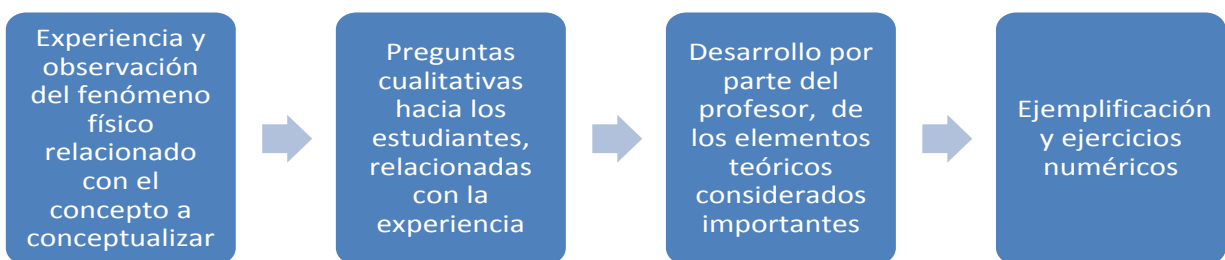


Ilustración 9: Organización de las actividades previa a la investigación.

Considerando los objetivos de la investigación en curso los módulos se re-estructuraron de la siguiente manera:



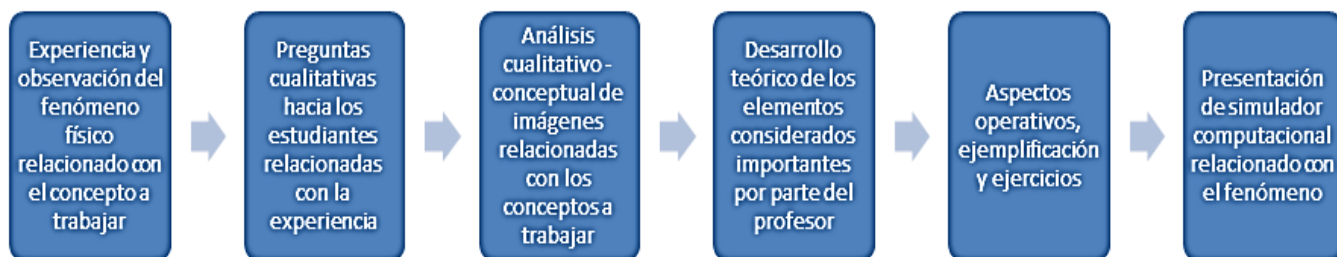


Ilustración 10: Organización de las actividades del curso en la etapa 1 de la investigación.

Esa estructura derivó de proponer la intervención como un apoyo a la planeación del profesor titular, integrando nuevas actividades (relacionadas con el uso de la imagen) a la estructura previamente establecida.

El tiempo y características de la intervención evolucionaron desde la observación hacia la participación activa del maestrante en algunas secciones y finalmente a la planeación e intervención en un módulo completo.

ETAPA 2: No se logró una estructura cíclica ni bien definida como la de la etapa 1. La mayor parte de las lecciones se estructuraron de la siguiente manera:

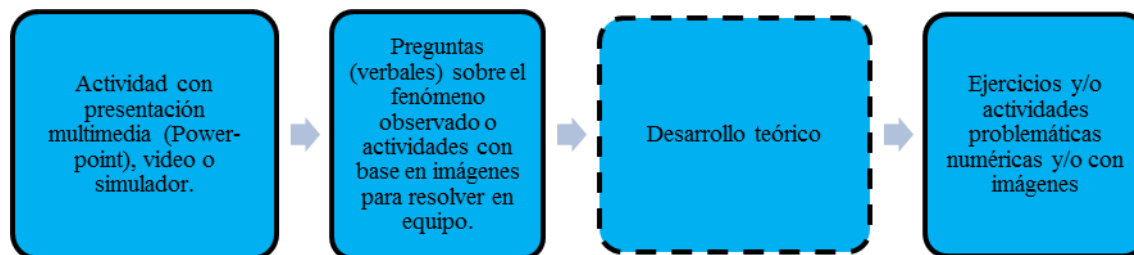


Ilustración 11: Organización de las actividades de clase durante la segunda etapa.

Debido a la falta de laboratorio, en esta etapa no fue posible establecer sistemáticamente vínculos entre la experimentación y las representaciones externas utilizadas por los alumnos. Por ello el uso de imágenes se llevó a un nivel más abstracto, intentando utilizar las representaciones externas como base informativa de actividades problemáticas. Con ello se pretendió hallar algunas de las dificultades que los alumnos enfrentan al recuperar o interpretar información presente en imágenes externas. Las instrucciones textuales, adjuntas a las imágenes mediante enunciados o etiquetas, pretendían delimitar su naturaleza polisémica y constreñir las posibles interpretaciones.

Durante la tercera etapa, cuando nuevamente se contó con laboratorio, se utilizaron los simuladores de manera más sistemática, incluyéndolos durante el proceso de evaluación/calificación y relacionándoles directamente para el modelado de las prácticas experimentales.

### 3.1.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos se propusieron distintos tipos de actividades que implicaban la lectoescritura de imágenes en diferentes niveles (Ver anexo I). Típicamente las respuestas de los alumnos podían ser plasmadas mediante dibujos realizados por ellos o textos que los acompañaban. En algunos casos se recurrió a preguntas de opción múltiple y entrevistas.

#### 3.1.4.1. Características de las actividades

Se buscó que las actividades cumplieran con las siguientes características:

- servir de apoyo a los objetivos establecidos por los programas oficiales.
- cumplir un doble papel de manera simultánea: *ser útiles para apoyar la construcción conceptual y permitir la recolección de datos necesarios en la investigación.*
- ser suficientemente acotadas en el tiempo, tanto si eran actividades para desarrollarse dentro del salón de clase si se consideraban extra clase, de tal forma que no se violentaran los tiempos de los estudiantes tanto de la propia materia como de otras materias paralelas.
- en caso de considerarse como parte del proceso de evaluación/calificación, permitan a los alumnos establecer sus opiniones y propuestas al respecto, abriendo los canales necesarios para ello y en su caso retomando dichas propuestas, así como dando los apoyos necesarios para su integración en el modelo de aprendizaje de los alumnos.

Desde la perspectiva cognitivo/comunicativa las actividades propuestas constituyen *situaciones* en el sentido planteado por Vergnaud, por lo que implican la acción del alumno. La información necesaria para llevar a cabo la acción constituye el *mensaje*. El medio (papel, proyección, experimento, etc.) y el o los formatos en que se presenta la información, son la base material del mensaje. Las distintas representaciones externas presentes en una misma situación, en conjunto, deben considerarse en la categoría de las “representaciones múltiples”, por lo que deben ayudar a constreñir la interpretación, complementarla o permitir la construcción de un conocimiento más profundo.

En una escala distinta, las actividades pueden ser vistas como un “instrumentos” para la obtención de datos, con el fin de establecer una relación teórica entre las imágenes que representan conceptos o fenómenos físicos, el alumno y los resultados de la acción que realiza el alumno con esa imagen (por ejemplo la observación y representación del fenómeno).

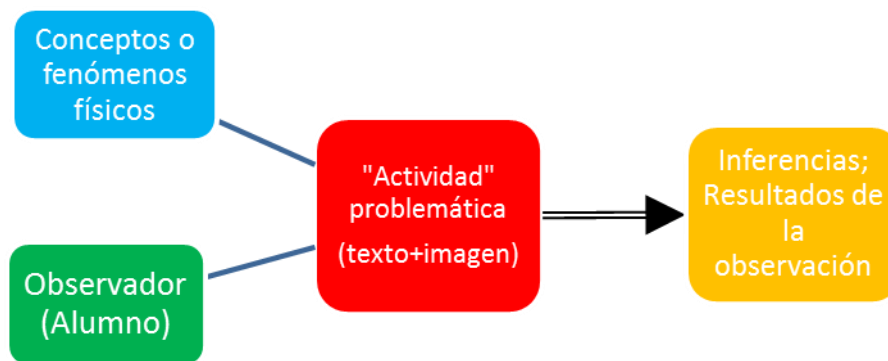


Ilustración 12: Actividad vista como un nodo entre los “objetos físicos” (conceptos o fenómenos), el alumno (observador/actor) y la evidencia (resultados de la observación) de la acción (actividad) que realiza sobre aquellos objetos.

*Dado que el proceso enseñanza-aprendizaje es un proceso de comunicación, en cada actividad el alumno debe:*

- *interiorizar información externa (interprete el mensaje y reconozca los elementos de la información necesarios para resolver la tarea):*
  - *sobre lo que se espera que haga (Instrucciones, objetivos)*
  - *con la cual poder realizar lo que se pide (datos)*
- *transformar la información (realice la acción que se le pide mediante las tareas cognitivas necesarias)*
- *exteriorizar los resultados de la tarea (evidencie los resultados de la acción realizada)*

En todos los casos, la información sobre *lo que se espera que haga* el alumno se dio oral y textualmente. (Es decir mediante representaciones externas no icónicas).

La información a utilizar durante la actividad se presentó en diferentes formatos, casi siempre icónicos, a veces de manera aislada y a veces creando representaciones múltiples. En ocasiones la información se acompañó de etiquetas textuales o incluso de texto explicativo.

La exteriorización de los resultados implicó la “escritura” en uno o varios formatos, incluyéndose la redacción de textos explicativos.

### **3.1.4.2. Uso de simuladores**

#### *3.1.4.2.1. Antecedentes sobre el uso de simulaciones durante el aprendizaje de la física*

Una de las investigaciones más importantes que se han hecho en el mundo de habla hispana respecto al uso de simuladores en la enseñanza de la física fue llevada a cabo por Rita Otero (Otero M. R., *Imágenes y Enseñanza de la Física: Una visión Cognitiva*, 2002), donde hace una aproximación al uso de la imagen en la enseñanza

de la física desde una perspectiva cognitiva. Otero trabajó con dos grupos, uno de control y otro donde el uso de simuladores fue sistemático. Otero no encontró diferencia estadísticamente significativa en el rendimiento de los alumnos de ambos grupos al aplicar una prueba final. No obstante Otero no niega el valor de los simuladores, sino que pone en evidencia la creencia popular de que la imagen por sí misma es obvia y propone a necesidad de profundizar en el estudio del uso de la imagen como apoyo para la creación de modelos y representaciones mentales en los alumnos dentro de la enseñanza de la física.

Los simuladores dentro del aula fueron utilizados de manera demostrativa (de forma análoga a los experimentos demostrativos), y como complemento se pidió a los alumnos que realizaran actividades en casa relativas al uso del simulador.

Sobre el uso de simulaciones para el aprendizaje de la física, algunos estudios señalan sus beneficios, en particular la posibilidad de visualizar los fenómenos, pero alertan al mismo tiempo respecto a no creer que son soluciones totales ni mágicas, y que tampoco sustituirán el trabajo del profesor (Ives Solano Araujo, 2007).

En el presente caso el uso de simuladores tuvo dos propósitos: dotar a los estudiantes de una herramienta que coadyuvara durante la construcción conceptual e investigar las dificultades emergentes. Se crearon actividades para estudiar las dificultades asociadas al uso de simulaciones y otros tipos de representaciones externas en los temas de electromagnetismo (carga eléctrica, campo eléctrico, potencial electrostático, corriente eléctrica, campo magnético e inducción electromagnética).

Las actividades propuestas incluyeron tres de los cuatro aspectos mencionados por Ainsworth (2006) sobre el uso de las representaciones múltiples: cómo entienden los estudiantes la forma de la representación, cómo comprenden la relación entre la representación y el dominio y de qué manera construyen los estudiantes una representación apropiada.

Entre las características que tienen los simuladores está la posibilidad de controlar las variables físicas relacionadas con el fenómeno, con lo que es posible estudiarlo de manera idealizada, pudiendo inclusive variar el ritmo al que sucede o repetirlo el número de veces que se requiera. No obstante dicha idealización debe ser explicitada, de tal forma que los alumnos establezcan las semejanzas y diferencias entre la simulación y el fenómeno real así como los límites de validez del modelo. Como puede deducirse de la teoría de los Campos Conceptuales el establecimiento de dichos límites forma parte de la construcción conceptual.

### **3.1.4.3. Evaluación de las respuestas a las actividades**

*Criterios para la evaluación de las representaciones externas realizadas por los alumnos*

En cada caso se propusieron criterios para evaluar las representaciones con las que los alumnos exteriorizaban el resultado de la actividad cognitiva, para ello se consideraron los siguientes aspectos:

- la representación aceptada por la comunidad científica fue establecida como referente.
- los elementos sintácticos y semánticos presentes en la representación referente fueron explicitados y se compararon con los elementos presentes en las representaciones de los alumnos.
- a cada uno de los elementos sintácticos y semánticos se asoció una evaluación cuantitativa y acumulativa con lo que la representación fue calificada.

Consideraciones: El nivel de iconicidad no queda determinado de manera única y “objetiva” para todos los sujetos, sino que modelo y referente pueden ser considerados más cercanos o más lejanos dependiendo de la lectura (subjetiva) que de ellos se haga. Existen al menos dos formas para definir el nivel de analogía, el nivel de analogía potencial u objetiva y el nivel de analogía relativo o subjetivo. El primero de ellos se relacionaría con el conjunto total de posibles semejanzas (y diferencias) entre modelo y referente, mientras que el segundo debería medir las semejanzas (y diferencias) que son conscientes para el sujeto en un tiempo dado (quizás ambos casos deben ser limitados por la variable temporal). En este sentido es pertinente preguntarse sobre si lo conscientes debe incluir sólo los aspectos explicitables o también aquellos que son implícitos (por ejemplo, el sujeto sabe que con diferentes pero no puede decir por qué son diferentes).

La idea anterior puede aplicarse al caso de la analogía entre modelo y referente tanto en el caso de las simulaciones de la realidad como el de la construcción conceptual, donde se incluye la diferenciación entre dos conceptos así como las situaciones a las cuales está asociado (concepto según Vergnaud).

### **3.1.4.4. Organización y análisis de datos**

Para las distintas etapas del estudio se han utilizado los tipos de información que, por su naturaleza, han sido registradas de forma específica:

- en el caso de las respuestas (escritas) de los alumnos a preguntas con respuesta textual (justificación, argumentación, opción múltiple), se crearon tablas para organizar y analizar la información de manera global.
- en el caso de las respuestas o actividades que requerían la creación de imágenes, se hizo un registro fotográfico, digitalizado, que permitió encontrar algunas categorías generales.

- en el caso de información obtenida mediante entrevistas, se realizó un registro de audio que, posteriormente comenzó a ser transcrito para su análisis. Estas grabaciones tienen el fin de servir para validar algunas de las interpretaciones que parecen emerger de las respuestas en las pruebas escritas, sin embargo debido al tiempo requerido para ello ese tipo de registro sólo fue utilizado de manera muy general.

En cada una de las actividades se consideraron tres aspectos diferentes:

- Conceptual disciplinario
- Uso y representaciones de la imagen externa
- Dificultades asociadas al uso de la imagen externa.

Como se ha mencionado, las dificultades asociadas al uso de la imagen pueden establecerse en diferentes niveles y dimensiones. Desde la perspectiva semiótica la detección de dificultades implica tomar en cuenta los aspectos sintácticos y semánticos. Se ha intentado que ambos estén presentes en el análisis de las actividades presentadas, pero no se ha llegado a una categorización lo suficientemente detallada como para poder establecer una separación bien limitada entre ambos (si ello fuera posible).

No es objetivo de este trabajo reconstruir explícitamente los aspectos teórico-conceptuales asociados a las distintas áreas de la física consideradas durante el estudio, aunque por fuerza los aspectos disciplinarios fueron considerados en cada actividad propuesta. En cambio, el enfoque propuesto ha buscado explicitar la manera en que se relaciona la imagen externa con las situaciones (conceptos o procesos) físicos que intenta representar.

Como ya se ha mencionado, durante el proceso comunicativo se encuentran involucrados al menos dos sujetos (emisor y receptor), que en el contexto educativo son representados por las distintas combinaciones ordenadas de maestro y aprendiz. El uso de la imagen externa en una actividad/situación implica considerar cuando menos, los *conceptos disciplinarios involucrados*, los *elementos visuales representacionales*, la *intención del emisor* y la *interpretación del receptor*. En el caso de la pareja maestro-aprendiz, intención e interpretación pueden divergir en alto grado debido, por ejemplo, a que las ideas previas de ambos tienen dominios distintos. El explicitar la intención de la actividad, incluidos éstos niveles de lectura, parece un paso ineludible para la caracterización de las *dificultades asociadas al uso de la imagen*, ya que éstas dificultades tienen como una de sus causas aquella divergencia.

## 4. RESULTADOS

Los resultados se dividen en cuatro categorías:

- I. Descripción y categorización de algunas dificultades semióticas (sintácticas y semánticas) relacionadas con las representaciones visuales externas de conceptos y fenómenos físicos.
- II. Estrategia para mejorar la lectoescritura de imágenes relacionadas con conceptos y/o fenómenos físicos: Caso del potencial electrostático.
- III. Propuestas para una evaluación gradada de las imágenes externas realizadas por los alumnos.
- IV. Valoración de los alumnos sobre el uso de la imagen durante el proceso enseñanza-aprendizaje

### 4.1. DESCRIPCIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE ALGUNAS DIFICULTADES SEMIÓTICAS RELACIONADAS CON LAS REPRESENTACIONES VISUALES EXTERNAS ESTÁTICAS DE CONCEPTOS Y FENÓMENOS FÍSICOS.

Las actividades propuestas permitieron detectar algunas dificultades con relación al uso de la imagen externa para representar y comunicar información asociada con conceptos y fenómenos físicos, mismas que fueron presentadas en la International Conference on Physics Education ICPE 2011, Training Physics teachers and educational networks, IPN, México, y publicadas en Latin American Journal of Physics Education, Vol 6, Supplement I, August 2012, 330-334, (Ver anexo II). En aquél se propusieron algunas categorías en las que podrían agruparse dichas dificultades. Las categorías describen de manera general las dificultades encontradas, pero se especifican también los contextos (referidos a la temática disciplinar) y las *actividades cognitivas* principales, necesarias durante la acción del alumno (La asociación de unas cuantas *actividades cognitivas* implica simplificar el problema en forma drástica, pues son parte de un conjunto mucho más extenso de las actividades requeridas en cada caso, por lo que sólo constituyen una primera aproximación).

*Categoría 1: Postulación de elementos físicos no presentes en una fotografía para explicar un fenómeno físico.*

*Contexto en que la dificultad fue detectada: Representación del campo eléctrico debido a una carga estática.*

*Actividades cognitivas principales: Seleccionar, interpretar y comparar información dada en dos representaciones con diferente nivel de iconicidad.*

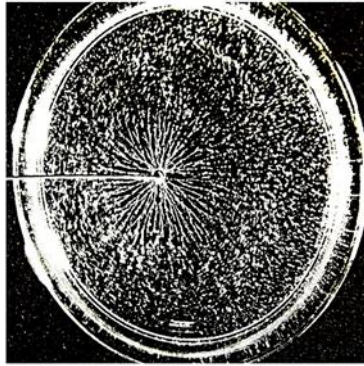
Comparando la fotografía con los diagramas de campo eléctrico ¿Es posible determinar qué tipo de carga fue la que produjo el campo de la fotografía? Explica tu respuesta.

(COMPARAR)

Caso 1: Postulación de fuerzas/movimientos para explicar el fenómeno.

Contexto: Campo electrostático debido a una carga.

Actividad: A partir de una fotografía distinguir información física deducible de ella de la que no lo es.



“Está cargada negativamente porque la carga mueve las semillas hacia ella...(Cinthya, 16 años)”

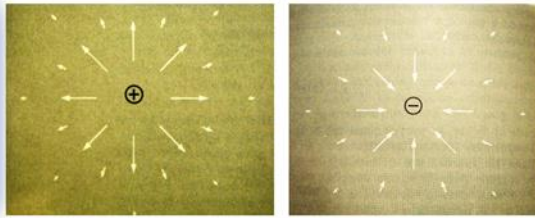


Ilustración 13: Imágenes utilizadas durante la actividad y primera propuesta para organizar los datos obtenidos. Se incluyó el comentario de uno de los alumnos obtenido mediante entrevista. Las imágenes fueron tomadas del PSSC de Física General.

*Descripción de la actividad:* Se presentó a los estudiantes una fotografía de un patrón formado con semillas de pasto sobre aceite al ser sometidas a un campo eléctrico central. Adjunto se propusieron dos esquemas representando las líneas de campo eléctrico de una carga puntual positiva y de una carga puntual negativa respectivamente. Se pidió a los estudiantes comparar la fotografía con los esquemas y decidir, a partir de la comparación, si era posible determinar el signo de la carga y, en caso afirmativo, decidir el signo adecuado.

*Análisis y resultados:* 65% (13/20) de los estudiantes expresaron que sí es posible determinar el signo de la carga con la información dada, 35% (7/20) respondieron que no. Entre las respuestas correctas (no), solo 28% (2/7) incluyeron una justificación basada en argumentos *correctos* desde la perspectiva física, estableciendo la observación como la base del argumento.

- *Creo que no porque no se logra observar la dirección de los vectores.*
- *Porque en las imágenes no se puede apreciar el sentido de las semillas.*

En 56% (4/7) de las respuestas correctas la justificación hace referencia a la necesidad de contar (experimentalmente) con *dos cargas* para poder determinar el signo, es decir, aunque la justificación alude a una necesidad experimental, se hace a un lado la presencia o ausencia de información visual necesaria.

- *Ya que se necesita otro conductor cargado para poder saber qué tipo de carga tiene.*



Entre aquellos que afirmaron que *sí es posible* determinar el tipo de carga, un 62% (8/13) suponen o postulan una fuerza (atracción (5)/repulsión (3)) y de ahí deducen el tipo de carga y sus efectos.

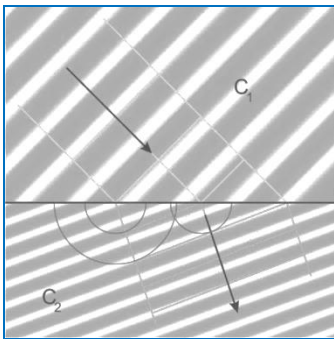
- *Es carga negativa porque las cargas mueven el pasto hacia adentro.*
- *Se carga positiva, porque en las imágenes inferiores se muestra cuando una carga es positiva y repele las pajitas o se van en dirección contraria cuando es negativa*

*Categoría 2: Interferencia del significado usual de las palabras en la interpretación de elementos y relaciones entre elementos de una imagen.*

*Contexto en que la dificultad fue detectada: Representación de la refracción de una onda.*

*Actividades cognitivas principales: Seleccionar, interpretar y comparar información dada a partir de dos representaciones externas del mismo nivel de iconicidad.*

*Descripción:* A partir del diagrama de una onda refractándose (obtenida de Internet), se les pidió a los alumnos que respondieran 4 preguntas donde se pedía comparar el valor de algunas de las variables principales de la onda (longitud, velocidad, frecuencia e índice de refracción) en los medios por donde viajaban la onda incidente y la onda refractada. En cada caso los alumnos debían explicar sus respuestas.



**Ilustración 14:** Imagen obtenida de Internet utilizada para la actividad relacionada con la refracción de ondas. Los elementos representacionales "secundarios" no fueron atendidos por los alumnos.

**Análisis y resultados:** Los porcentajes de respuestas correctas desde el punto de vista físico son los siguientes:

	1: Longitud de onda	2: Velocidad	3: Frecuencia	4: Índice de refracción
% respuestas correctas	89%	41%	0%	70%

El mayor porcentaje de respuestas correctas (89%) se obtuvo para el caso de la longitud de onda, donde la asociación entre la imagen y el concepto estudiado era más directa (relacionar la longitud de onda con la distancia entre líneas paralelas, comparar dichas distancias y seleccionar la mayor). Sin embargo, a pesar del gran porcentaje de aciertos, ninguno de los alumnos tuvo una respuesta totalmente correcta, donde se apelara adecuadamente a la información gráfica, se realizara la comparación entre las distancias en los dos medios y se utilizara el lenguaje escrito en forma correcta. La justificación fue “casi correcta” en 19% de los casos (5/27) apelando a la distancia observada entre crestas (o valles) y a la comparación entre esas distancia en los dos casos, pero cometiendo algunos errores o imprecisiones en el lenguaje utilizado (p.ej. El alumno escribió *Porque hay mayor espacio entre cada cresta*. Debiendo decir “mayor distancia entre crestas contiguas”). El 22% (6/27) justificaron de manera “parcialmente correcta”, cometiendo errores conceptuales pero apelando al elemento visual correcto (P.ej. *Porque el tamaño de las franjas blancas es más grande*. Siendo que no es suficiente considerar el tamaño de las franjas blancas, sino que se requiere considerar tanto las franjas blancas como las negras). Otro 22% (6/27) de los alumnos confundió el significado de los términos según su uso común y el uso científico (P.ej. *La longitud de onda es mayor porque la perturbación de éste es menos frecuente*. Aquí se utiliza el término *frecuente* como una característica de la densidad espacial del patrón (representada por la cercanía entre líneas), sin considerar el tiempo). El resto 33% (9/27) careció de una justificación al menos parcialmente aceptable (p.ej. *Ya que al ser más delgaditas las líneas, existe mayor longitud de onda*). En un caso (4%) se apeló a una *justificación* que relaciona al medio (*Debido a la forma en que se desplaza la onda en el medio*. Esta justificación es difícil de catalogar).

La pregunta con menor número de respuestas correctas fue aquella relativa a la frecuencia de la onda. En este caso, todos los alumnos optaron por seleccionar el medio 2 como aquél en que la onda se movía con mayor frecuencia. Esto es, 0% de los alumnos se percataron de la respuesta correcta (en ambos medios la frecuencia es la misma). 100% seleccionaron el medio 2, encontrándose que 67% (18/27) justificaron aludiendo al *mayor número de ondas*, es decir, la mayor densidad espacial (2 alumnos utilizaron *frecuencia* como sinónimo de densidad espacial, y uno uso el término *continuas* como sinónimo de densidad espacial). 26% (7/27) justificaron a partir de la *menor distancia entre franjas* (uno de ellos usó el término *dispersión* como sinónimo de mayor lejanía entre crestas). El 7% restante (2/27) no justificó.

*Categoría 3a: Confusión entre elementos representacionales pertenecientes a formatos con distinto nivel de iconicidad (Rigidez icónica).*

*Contexto: Representación de circuitos eléctricos básicos.*

*Actividades cognitivas principales: Seleccionar, traducir y representar información desde una representación pictórica hacia otra con menor nivel de iconicidad.*

*Descripción de la actividad:* Con la finalidad de estudiar la manera en que son o no capaces de traducir la información de un dibujo de un circuito a un esquema del circuito, se pidió a los alumnos que realizaran los esquemas correspondientes a una serie de dibujos que representaban elementos físicos de un circuito (foco, cables, batería) conectados de diferentes maneras.

*Análisis y resultados:* La dificultad principal se encontró en que algunas de las representaciones establecían formas poco comunes de acomodar los elementos del circuito. Como resultado de lo anterior, se obtuvieron algunos casos en los que fue posible detectar grados de analogía en las imágenes que, sin embargo, no corresponden con la traducción “correcta” entre representaciones. Un ejemplo particularmente interesante se obtuvo para la siguiente configuración:

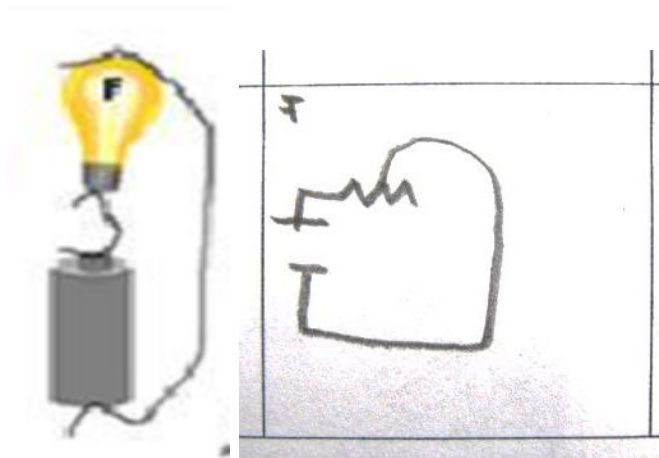


Ilustración 15: Representación dibujada por un alumno (derecha) relacionada con el la representación pictórica de la izquierda.

En este caso el 40% de alumnos asoció un circuito en el que se mantenía la posición geométrica de los elementos, y en algunos casos se representó al foco como si fuera una resistencia, como se ejemplifica arriba.

Dentro de esta misma categoría se encuentran algunas variantes, por ejemplo:

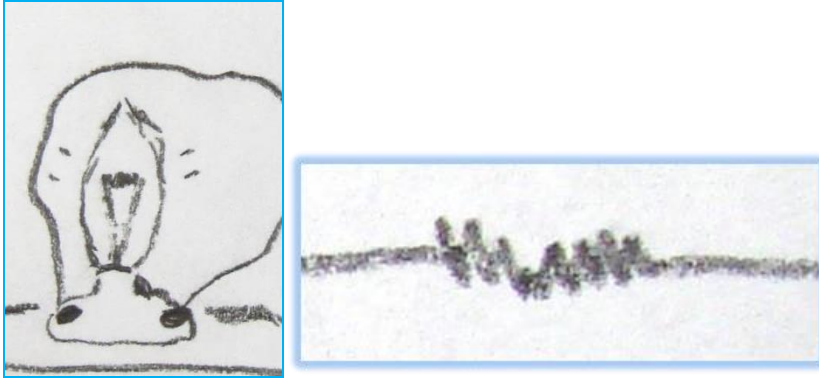
*Categoría 3b: Confusión entre elementos representacionales pertenecientes a formatos con distinto nivel de iconicidad (confusión entre lo concreto y lo abstracto).*

*Contexto en que la dificultad fue detectada:* Representación de circuitos con resistencias eléctricas.

*Actividades cognitivas principales:* Seleccionar, traducir y representar información dada en un nivel de iconicidad hacia otro nivel de iconicidad.

*Descripción de la actividad:* Se pidió a los alumnos que observaran un circuito real que incluía un foco incandescente. Después se pidió que lo representaran mediante un dibujo detallado.

*Análisis y resultados:* Algunos alumnos representaron, dentro del foco, el filamento. Unas sesiones después se observó que al representar resistencias eléctricas en un diagrama de circuitos, el elemento visual utilizado para representar el filamento del foco era similar al elemento visual utilizado en el caso de las resistencias en el diagrama. Al cuestionárseles al respecto se mostraron sorprendidos de que en los diagramas de circuitos no se estaba dibujando “directamente” el filamento.



**Ilustración 16:** Dibujo que representa a un foco (izquierda) y a una resistencia eléctrica (derecha). La similitud entre ambas representaciones invita a pensar en un nivel concreto de pensamiento.

Parecería ser que algunos alumnos no aceptan la representación como algo meramente arbitrario, sino que buscan una relación entre la representación y el objeto representado. En ese sentido, esos alumnos hacen uso de sus conocimientos en acto en dos niveles diferentes, por un lado la creencia implícita de que debe existir una relación entre signo y significado (icónica), por el otro utilizan conceptos en acción que les permitan crear la representación (“*lo que se está representando es el filamento del foco*”). Este sería uno de los elementos considerados como relevantes para el sujeto (“*los elementos de la situación que deben ser representados icónicamente*”).

*Categoría 4: Confusión entre causa efecto observable en los elementos de una representación.*

*Contexto en que la dificultad fue detectada: Representación del campo electrostático debido a un conductor cargado.*

*Actividades cognitivas principales: Seleccionar, traducir y representar información dada en un nivel de iconicidad hacia otro nivel de iconicidad.*

*Descripción de la actividad:* A los alumnos se les presentó una fotografía de la distribución de semillas de pasto inmersas en un líquido no conductor, en el que se había creado un campo eléctrico a partir de un conductor cargado y se les pidió realizar un dibujo explicativo de lo observado.

*Análisis y resultados:* A pesar de que en la fotografía el conductor cargado era un cilindro de metal muy delgado, varios de ellos realizaron esquemas (fotografía de la izquierda) que parecieron corresponderse de mejor manera con el experimento realizado en laboratorio (fotografía de la derecha).



**Ilustración 17:** Fotografía del experimento y dibujo realizado por un alumno que representan la distribución de semillas de té en aceite debida al campo electrostático en el conductor central. Debe destacarse la distribución de carga según el alumno.

También fue notorio que, aunque se preguntó y mencionó explícitamente la no conductividad del medio líquido, los alumnos mantuvieron la creencia de que la distribución de las semillas se debía a zonas de mayor carga y de menor carga, asociando el efecto sobre las semillas a la carga y no al campo. Detrás de eso parecería existir una concepción de la carga como algo que escapa del conductor y empuja a las semillas, de tal forma que si no se presenta ningún efecto (movimiento), es porque hay ausencia de carga, mientras que si el efecto se produce es por la presencia de carga en la zona afectada.

La confusión entre causa y efecto puede surgir de la estrategia para crear el concepto. En este caso el alumno ha observado los patrones formados por las semillas de pasto en un contexto en que el maestro afirma “estamos viendo el campo eléctrico” o “estamos viendo las líneas de campo eléctrico”. La información visual junto con la afirmación constituyen un mensaje, cuyo sentido es ambiguo para el alumno, pero que tiene la finalidad de que el alumno asocie el nombre con la situación, es decir que comience a construir el concepto. La información visual toma entonces el papel de referente. Sin embargo dichos patrones no son el campo, ni las líneas de campo, sino un efecto del campo sobre la distribución de los elementos materiales (las semillas). Campo y líneas de campo no son visibles y por ello se presentan los efectos visibles que produce para aludir a aquéllos. El patrón de semillas tiene características comunes con el campo (y con las líneas de campo), pero no son idénticos, por lo que constituyen una analogía. En este sentido la información visual del experimento, considerada como un mensaje cuyo emisor es el maestro, es una imagen o representación externa del concepto que se quiere enseñar. Los alumnos, al hacer un dibujo de las líneas de campo, están realizando la representación de una imagen (de lo que difícilmente se percatan).

La realización de aquel dibujo requiere traducir información entre dos niveles de iconicidad. Ello implica seleccionar aquellos elementos considerados pertinentes de la representación inicial y asociarles elementos equivalentes en la segunda presentación.

Al presentar el experimento como referente se espera que el alumno observe lo que el maestro observa, pero la observación se da a partir de filtros conceptuales (Ausubel) y

dichos filtros pueden no ser equivalentes entre maestros y alumnos (Wittmann, The object coordination class applied to wave pulses: analysing student reasoning in wave physics, 2002), pues las experiencias anteriores y los códigos no son compartidos entre ambos.

Por otro lado, parecería ser que los alumnos, al realizar el dibujo, no requieren forzosamente construir un modelo mental, sino que este aparece cuando el alumno intenta apropiarse de la realidad (Galagowski & Aduriz-Bravo, 2001). En caso de que se trabaje de manera menos profunda, por ejemplo al copiar una fotografía sin preguntarse qué están copiando, estarían realizando una representación del referente visual (la fotografía) como objeto y no como representación de un fenómeno físico.

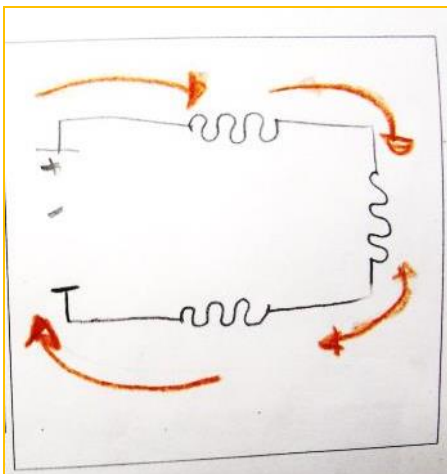
*Categoría 5: Interferencia entre elementos representacionales con formas similares asociados a dos contextos distintos.*

*Contexto en que la dificultad fue detectada: Representación de un circuito eléctrico con resistencias y fuente de voltaje.*

*Actividades cognitivas principales: Seleccionar, traducir y representar **información dada en lenguaje verbal escrito hacia esquemas.***

*Descripción de la actividad: A partir de una fotografía de un circuito eléctrico con tres focos conectados en serie realizar un esquema que lo represente.*

*Análisis y resultados: Algunos alumnos utilizaron el mismo elemento visual para representar resistencias eléctricas que el utilizado para la representación gráfica de una onda.*



**Ilustración 18:** Dibujo, realizado por un alumno, que representa un circuito eléctrico con tres resistencias en serie. Debe resaltarse la similitud de los elementos visuales representacionales de las resistencias y con la forma comúnmente usada para representar ondas.

Este resultado puede explicarse a partir de los planteamientos básicos sobre las ideas previas, por ejemplo en de la Teoría de Ausubel o considerando el planteamiento de



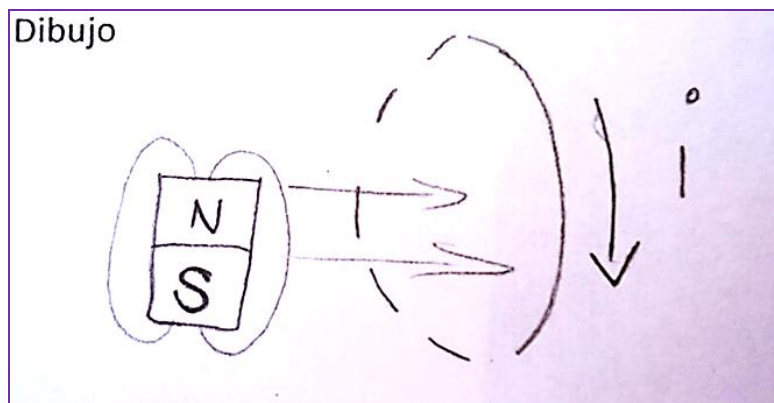
Greca y Moreira de que “el conocimiento en acción del sujeto es lo que determina lo que puede ser percibido de la situación” (Greca & Moreira, La integración de modelos mentales y esquemas para la comprensión de procesos de aprendizaje significativo, 2008). También se puede asociar desde la perspectiva de di Sessa con la frase “What you see is what you get”). En todos estos casos puede resaltarse la necesidad de establecer relaciones entre lo que el sujeto sabe (las representaciones que visualmente ya conoce) y lo que se desea que aprenda (las nuevas representaciones), pero, en el caso del uso de imágenes, poniendo especial atención en aquellas representaciones que presenten semejanzas visuales que pudieran causar confusión. En este sentido no se está planteando la relación entre representaciones conocidas y representaciones nuevas para “ampliar” el uso de una representación (como, por ejemplo, sería el caso al utilizar el elemento representacional de una resistencia conocido inicialmente de manera independiente, dentro de la representación de un circuito eléctrico), sino la distinción de los elementos visuales que hacen que dos representaciones semejantes sean diferentes y, sobre todo, qué interpretación debe darse al elemento representacional en cada contexto.

*Categoría 6: Omisión de elementos representacionales característicos de un concepto o fenómeno físico al representarlo mediante dibujos.*

*Contexto en el que la dificultad fue detectada: Representación del flujo magnético en un anillo debido a la presencia de un imán.*

*Actividades cognitivas principales: Evocar, visualizar, seleccionar, traducir y representar información.*

*Descripción de la actividad: A partir de información dada textualmente representar mediante un esquema un fenómeno físico.*



**Ilustración 19:** Dibujo realizado por un alumno, que representa el flujo magnético de un imán de barra colocado frente a un anillo conductor.

*Análisis y resultados:* La situación se presentó como situación problemática en el contexto de un examen parcial. En este caso se han omitido algunos elementos importantes en la representación de las unidades visuales básicas en física. En este caso el alumno ha omitido la dirección de las líneas del campo magnético asociado al imán, es decir, las líneas de campo aparecen como líneas curvas sin la punta de

flecha que indica la dirección. Este resultado puede explicarse por la complejidad de la situación y la necesidad de simplificarla para hacerla más manejable (consciente o inconscientemente). La solución requiere considerar los detalles en diferentes elementos representativos (Representación de elementos visibles en la experiencia práctica; imán y anillo, tridimensionalidad de la situación. Representación de elementos no directamente visibles en la práctica: polos del imán, líneas del campo magnético asociado al imán (forma, dirección, distribución). Representación de los efectos sobre el anillo, etc.). Como la representación carece de un referente visual presente, el alumno debe evocar una situación pasada, donde el nivel concreto carece de algunos de los elementos mencionados, por lo que debe evocar las representaciones planas realizadas en el pizarrón o en su cuaderno durante la clase. Es probable que el alumno haya prestado más atención a otros elementos que considera fundamentales en la representación del fenómeno, es decir, que practique una especie de memoria selectiva, lo que permite liberar algo de la carga de trabajo del sistema asociado a la memoria visual.

La misma representación anterior sirve para ejemplificar otra categoría.

*Categoría 7: Confusión en la interpretación de elementos representacionales que implican la tridimensionalidad de un fenómeno físico al representarlo mediante dibujos.*

*Contexto en el que la dificultad fue detectada: Representación del flujo magnético en un anillo debido a la presencia de un imán.*

*Actividades cognitivas principales: Evocar, visualizar, seleccionar, traducir y representar información.*

*Descripción de la actividad: A partir de información dada textualmente representar mediante un esquema un fenómeno físico.*

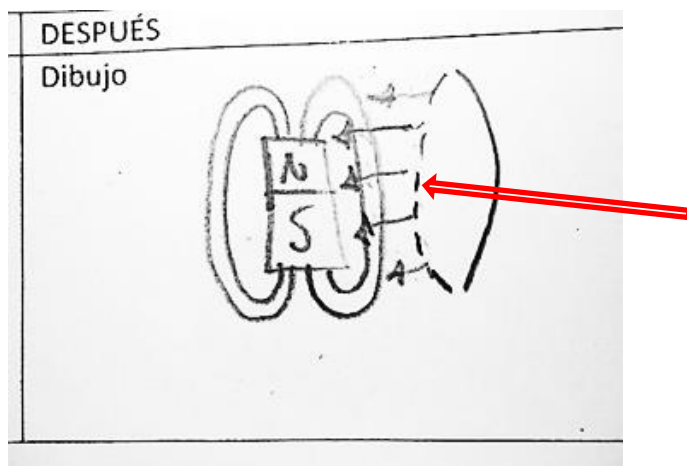


Ilustración 20: Dibujo realizado por un alumno para representar el campo magnético de un imán y la influencia que tiene sobre el flujo magnético en un anillo conductor. Puede observarse que las flechas (vectores) dibujados tienen distintas magnitudes. Así mismo, las líneas del campo magnético del imán carecen de dirección.



*Análisis y resultados:* La representación incluye “flechas” que inician en la línea punteada. Las flechas, aunque simétricas respecto al eje horizontal, tienen diferente magnitud. Esto parece representar el hecho de que las flechas están en el perímetro del anillo, y que el resto de las flechas quedarían ocultas por la superficie contenida en el anillo. Sin embargo, desde el punto de vista visual, la perspectiva contradice esa interpretación.

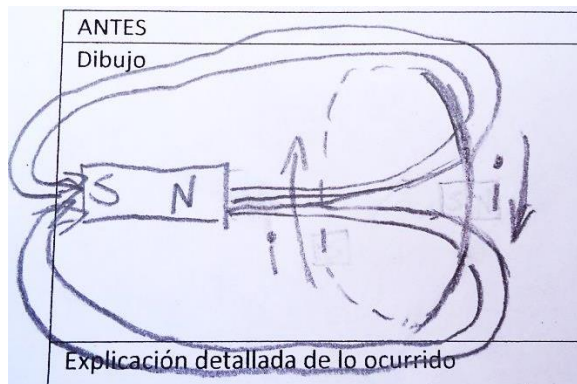
La discontinuidad en la línea que representa la zona del anillo “atrás” del plano de la hoja, según se insistió en clase. La decodificación implica conocer el código, pero también poder imaginar la tridimensionalidad a partir de la representación bidimensional y del texto que acompañaba a la imagen. Texto e imagen tenían la función de constreñir la interpretación, pues aun conociendo el código y el contexto, la imagen por sí sola permite múltiples interpretaciones (por ejemplo puede tratarse de una elipse o incluso de una curva discontinua vista con una perspectiva específica). La línea discontinua y la línea continua, para que las flechas correspondan con la interpretación que aquí se ha dado, están invertidas de posición.

*Categoría 7a: Deformación de algunos aspectos de los elementos representacionales para ajustar la representación a otros aspectos considerados prioritarios.*

*Contexto en el que la dificultad fue detectada: Representación del flujo magnético en un anillo debido a la presencia de un imán.*

*Actividades cognitivas principales: Evocar, visualizar, seleccionar, traducir y representar información.*

*Descripción de la actividad: A partir de información dada textualmente representar mediante un esquema un fenómeno físico.*



**Ilustración 21:** El campo magnético asociado al imán ha sido deformado, perdiendo la simetría para permitir que las líneas de campo creen un flujo en la zona delimitada por el perímetro del anillo, es decir se ha sacrificado la simetría geométrica en pro de representar el flujo a través de dicha área.

En este caso se ha deformado la simetría del campo magnético del imán en favor de representar el flujo magnético a través del anillo. Las líneas de campo magnético dibujadas a la derecha del anillo son más alargadas que las del lado izquierdo. Aparentemente el objetivo prioritario de la representación era enfocarse en el aspecto

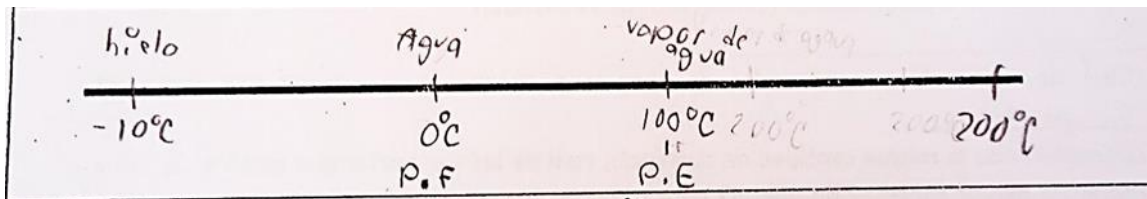
del flujo magnético sobre el anillo. La “deformación” permite ajustar los elementos dibujados en una primera fase (Imán, anillo) con los objetivos representacionales (flujo magnético a través del anillo), limitándose a las condiciones espaciales (marcadas por el área delimitada para realizar la representación).

*Categoría 7b: Deformación de algunos aspectos de los elementos representacionales para ajustar la representación a otros aspectos considerados prioritarios.*

*Contexto en el que la dificultad fue detectada: Representación de los puntos de fusión y ebullición del agua.*

*Actividades cognitivas principales: Seleccionar, traducir y representar información.*

*Descripción de la actividad: A partir de información dada textualmente representar en una recta numérica valores de una variable física.*



Se han seleccionado algunos puntos de la recta para representar los valores numéricos “importantes” para resolver en la situación. El orden corresponde con el orden convencional de la recta (valores negativos a la izquierda del cero, positivos a la derecha). No se han respetado las escalas lineales, como lo muestra la comparación de la magnitud del intervalo que comprendido entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $0^{\circ}\text{C}$  comparado con la magnitud del intervalo entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $100^{\circ}\text{C}$ .

De manera general, recordando que una *dificultad en el uso de la imagen* se presenta **cuando no se logra el objetivo de utilizarla de manera eficaz para representar y comunicar conceptos, procesos o fenómenos físicos manteniendo el sentido con el que fue diseñada**, la siguiente lista resume algunas de las posibles causas asociadas con la lectoescritura de la imagen en física detectadas durante esta investigación:

#### 4.1.1 ALGUNAS POSIBLES CAUSAS DE LAS DIFICULTADES QUE SE PRESENTAN EN LOS ALUMNOS ASOCIADAS CON LA LECTOESCRITURA DE LA IMAGEN EN FÍSICA.

- *No se perciben elementos visuales básicos en física.*
- *No se consideran o se omiten algunos aspectos de los elementos visuales básicos en física.*
- *No se perciben relaciones entre elementos visuales básicos en física (simetrías, repeticiones, etc.). Se lee localmente sin atender al conjunto.*
- *No se logra una asociación entre elementos visuales individuales con los conceptos físicos representados.*

- *No logra asociar relaciones entre elementos visuales básicos en física (por ejemplo patrones) con aspectos o características de conceptos o fenómenos físicos.*
- *No se considera importante la imagen como objeto de aprendizaje.*
- *Se considera que la lectura/escritura de la imagen es trivial (no es necesario aprender a leer/escribir la imagen)*
- *No se consideran importantes algunos elementos de la imagen (juicio erróneo)*
- *No se consideran importantes algunos patrones que aparecen en la imagen.*
- *No se consideran importantes las relaciones entre los elementos de la imagen.*
- *Se aplican “filtros” a partir de la interpretación de la intención aún sobre los aspectos disciplinarios “importantes”*
- *La imagen se lee desde niveles de iconicidad distintos con relación a la intención con la que fue concebida, en general más concretos*
- *La imagen se lee con distintos grados de profundidad (generalmente menor) con relación a la intención con la que fue concebida.*

#### 4.2. ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA LECTOESCRITURA DE IMÁGENES RELACIONADAS CON CONCEPTOS Y/O FENÓMENOS FÍSICOS: LECTOESCRITURA DEL POTENCIAL ELECTROSTÁTICO.

Los conceptos de campo y potencial eléctricos forman parte de los programas de Educación Media en México. Ambos conceptos se pueden catalogar como “difíciles de aprender” para los alumnos, entre otras cosas por el grado de abstracción que implican.

Desde el punto de vista general *“aprender implica cambiar los conocimientos y conductas anteriores”* (Pozo Muciño, 2002, pág. 76), y en la perspectiva constructivista, el aprendizaje requiere de tender puentes entre lo que el alumno ya sabe y lo que el alumno debe aprender, de tal forma que para el aprendizaje de los conceptos de campo eléctrico y de potencial eléctrico es menester tener en cuenta los conocimientos previos de los alumnos.

Una de las formas de tender estos puentes se basa en el uso de analogías. En este sentido se intenta utilizar los conocimientos y modelos que los alumnos pudieran tener en otra área, cuya construcción conceptual estuviera más desarrollada o fuera más fácil de desarrollar.

Generalmente los temas más trabajados desde la enseñanza de la física en los primeros cursos de nivel medio (básico y superior), son aquellos relacionados con mecánica newtoniana. Comparados con los fenómenos electromagnéticos, se considera que la mecánica escolar es más “fácil de entender” pues los conceptos que de ella emanan son antecedentes teóricos para los conceptos trabajados en electromagnetismo (por ejemplo el concepto de campo eléctrico se entiende a partir

del concepto de fuerza). Los conceptos básicos de la mecánica muchas veces han sido contruidos de manera deficiente desde el punto de vista científico, pero los alumnos cuentan con antecedentes “experienciales” que son aludidos para iniciar una aproximación teórica. En contraste, en el caso de los fenómenos electrostáticos los alumnos han tenido pocas oportunidades para construir los conceptos básicos, por lo que éstos son muy generales y con escasos referentes científicos. Su experiencia muchas veces queda limitada al conocimiento y lenguaje comunes, lo que causa confusiones en la terminología y deformaciones en los propios conceptos (por ejemplo confunden luz con electricidad, electricidad con magnetismo, o los relacionan con aspectos mágicos o sobrenaturales).

Es por ello que se plantea retomar los conocimientos que los alumnos han construido en el área de la mecánica, para tratar de establecer una analogía que permita entender los conceptos y representaciones usuales en electromagnetismo.

Esta aproximación, sin embargo, no carece de problemas. Los vectores (por ejemplo) pueden haber sido utilizados para representar fuerzas, pero muchas veces sin lograr incorporarlos a su lenguaje de manera “significativa” (es decir no son capaces de generalizar el concepto detrás de la representación). En el caso de que conozcan la representación de fuerzas con vectores, aún no la usan de manera espontánea al plantear una situación donde las fuerzas estén presentes, y en caso de representar “jalones” o “empujones” utilizando “flechas”, éstas no cumplen las características básicas del álgebra vectorial (por ejemplo, los alumnos no utilizan la proporcionalidad de la longitud de la flecha y la fuerza representada).

Otras dificultades emergen desde las habilidades cognitivas que se requieren para la aplicación de las representaciones gráficas de vectores. Aunque en los programas de matemáticas de educación básica se incluye el trabajo con representaciones bidimensionales de objetos tridimensionales (tanto representaciones planas como desarrollos planos de cuerpos y figuras geométricas), en los cursos de física de nivel medio superior comúnmente no se trabaja la imaginación espacial, sino que en general se consideran situaciones en el plano. La capacidad para pasar de una representación bidimensional a una tridimensional y viceversa, requiere de un trabajo específico y no debe presuponerse que los alumnos pueden “traducir” las representaciones automáticamente.

Las representaciones visuales externas que los alumnos asocian a los conceptos de campo eléctrico y voltaje son escasas, los elementos representacionales necesarios desde la perspectiva científica tampoco son dominados por los alumnos y el trabajo con analogías puede implicar una mayor carga cognitiva, al tener que considerar las relaciones entre conceptos de dominios distintos.

No obstante, consideramos que existe un beneficio intrínseco en el trabajo en ese sentido, pues permite desarrollar otras habilidades cognitivas.

Una secuencia que parecería ser útil para desarrollar la imaginación espacial y algunas habilidades de representación, así como para establecer conexiones entre elementos concretos y abstractos, se basa en utilizar modelos tridimensionales para tratar de explicar las líneas equipotenciales del campo eléctrico.

La analogía entre campo gravitacional y campo eléctrico se basa en suponer semejanzas “suficientes” entre los elementos de la Ley de Gravitación Universal y los de la Ley de Coulomb. Su utilidad en el aprendizaje presupone que el concepto de campo gravitacional permite crear un andamiaje para construir el concepto de campo eléctrico.

#### **4.2.1.1. Representaciones externas relacionadas con el campo eléctrico.**

Para representar visualmente el campo eléctrico se recurre generalmente a dos conjuntos de representacionales; las representaciones basadas en el concepto de líneas de campo y las representaciones vectoriales del campo.

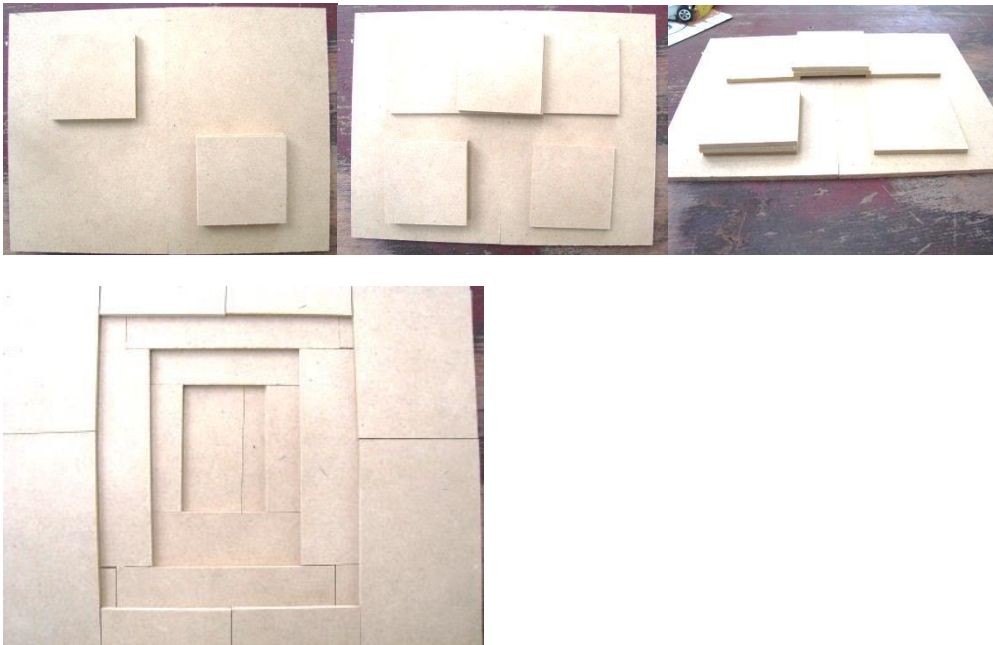
Estos dos tipos de representaciones difieren entre sí en varios aspectos, lo que las hace complementarias y útiles para diferentes propósitos, pero su aprendizaje implica pagar costos cognitivos altos, debiéndose aprender las características de codificación en ambos casos, sus equivalencias, sus ventajas y sus limitaciones, así como las relaciones entre ellas.

En la representación del campo eléctrico, generalmente se consideran vectores a partir de una escala apropiada, que se distribuyen a lo largo del plano (cuando la representación es plana), en algunos puntos seleccionados generalmente siguiendo un patrón radial (coordenadas polares) o bien un patrón rectangular (coordenadas cartesianas), aún en los casos en los que la simetría del campo es circular (o esférica en el caso tridimensional), como ocurre en el caso de una carga puntual aislada.

Propusimos el uso de modelos tridimensionales como antecedente concreto para la lectura de los diagramas con líneas de campo eléctrico. La idea fundamental consiste en establecer una analogía entre las líneas equipotenciales y las curvas de nivel usuales en las cartas topográficas. Sin embargo, en vez de manejar dichas cartas, planteamos el uso de “maquetas” que se establecen como punto intermedio entre los referentes “naturales” y las abstracciones geométricas. La ventaja del uso de esas maquetas estaba en su relativa simplicidad comparada con el caso de las estructuras asociadas a los paisajes naturales.

El caso más sencillo partió del uso de tabletas geométricas que los alumnos debían acomodar conforme a una representación plana, consistente en una perspectiva superior, a la que se habían añadido valores numéricos para indicar la “altura relativa” de cada zona. Las representaciones planas dadas fueron dibujos hechos por el profesor en el pizarrón del aula, y mediante el uso de tablas de diferentes dimensiones, los alumnos crearon pequeñas maquetas tridimensionales para

reconstruir lo representado en dos dimensiones. Ejemplos de ello pueden verse en las fotos siguientes:



**Ilustración 22:** Maquetas utilizadas para construir la idea de zonas con igual potencial gravitacional.

Después se presentaron objetos tridimensionales que los alumnos debían representar en el plano, y asociar algunas de las líneas equipotenciales, aunque fuera de manera cualitativa. Dichos objetos consistían en pequeñas rampas y escalones marcados por zonas. En algunos casos la rampa no tenía una pendiente constante, sino que se incrementaba en una dirección. La idea a resaltar era considerar que a mayor pendiente las líneas equipotenciales se veían más próximas entre sí, cuando se considera una perspectiva superior.

En el siguiente paso se trató de profundizar en el concepto utilizando líneas isóclinas en un objeto tridimensional, como se muestra en las siguientes fotografías:



**Ilustración 23:** Fotografías de un objeto tridimensional en el que se marcaron las isóclinas que fueron usadas como referencia para la construcción del concepto de las líneas equipotenciales electrostáticas.

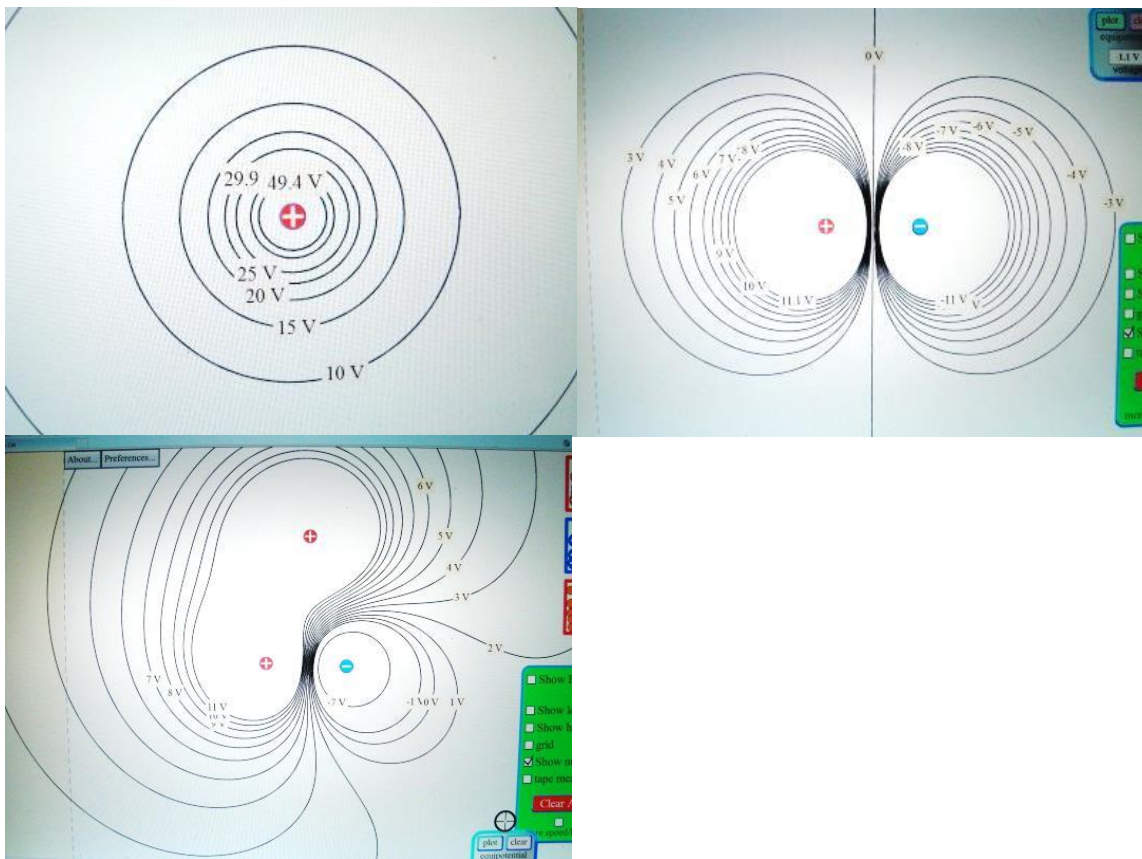
La primera de ellas corresponde con la vista superior, y se buscaba que los alumnos observaran y asociaran una mayor inclinación con una mayor cercanía en las líneas, de tal manera que si se tiene únicamente la primera representación (foto), y algunos



datos numéricos, puedan reconstruir (imaginar o dibujar) de manera aproximada, el objeto original.

El objetivo era que a partir de un procedimiento referente (la construcción de objetos tridimensionales a partir de la representación plana de las isóclinas y de los valores correspondientes), puedan seguir un procedimiento análogo para construir (de forma imaginaria o bien con dibujos), una representación del campo y del potencial eléctrico.

Así, la actividad consiste en presentar diagramas de líneas equipotenciales obtenidas mediante un simulador (PhET) y buscar que los alumnos puedan crear un modelo tridimensional a partir de ellos.



**Ilustración 24: Diagramas de líneas equipotenciales asociadas a campos electrostáticos.**

En este tipo de representaciones, las diferentes clases de información visual son objeto de interpretación, así, por ejemplo, la simetría (o falta de ella), la secuenciación de líneas, el color que diferencia las cargas y los valores numéricos presentes, son elementos valiosos para crear una imagen de lo que ocurre en el espacio físico debido a la presencia de cargas.

Si se logra, además, que los alumnos construyan a partir de esa representación los modelos tridimensionales, se estaría implicando el desarrollo de una perspectiva probablemente más intuitiva y dinámica del fenómeno.

Un problema asociado a la secuencia es lograr que los alumnos distingan los elementos relevantes tanto en términos de la analogía como en la propia representación, pues se corre el riesgo de que no logren separar lo representado de su referente, por ejemplo, que piensen que la representación tridimensional (campo eléctrico bidimensional + 1 dimensión que representa las equipotenciales) es el campo eléctrico espacial (campo eléctrico tridimensional), problema que surge de la complejidad de representar cuatro dimensiones (campo eléctrico tridimensional + 1 dimensión para las equipotenciales). Este problema es, por otro lado, análogo al que surge al representar los campos gravitacionales en un plano que se curva en una tercera dimensión y que, sin embargo, resulta pertinente para pensar en las deformaciones del espacio principalmente desde la perspectiva Einsteiniana.

A pesar de las dificultades asociadas desde el punto de vista conceptual, el desarrollo de la habilidad de imaginación espacial parecería verse favorecido al considerar este tipo de prácticas dentro de los cursos de física y con ello un pensamiento multidimensional que supere las limitantes del pensamiento bidimensional al que estamos acostumbrados.

#### **4.2.1.2 Resultados de la aplicación de la estrategia**

Después de haber llevado la secuencia de actividades descrita, se pidió a los alumnos que, a partir del diagrama de líneas equipotenciales correspondiente a una carga puntual, representaran mediante un dibujo, cómo se vería dicho potencial en tres dimensiones.

Las respuestas de los alumnos fueron analizadas y reportadas en la “World Conference on Physics Education, 2012” (WCPE 2012) (Ver anexo III), siendo la propuesta principal el categorizar las respuestas con base en los elementos visuales básicos en física y en las respectivas relaciones entre elementos a nivel sintáctico, tomando como referente las características sintácticas de la representación científicamente aceptada.

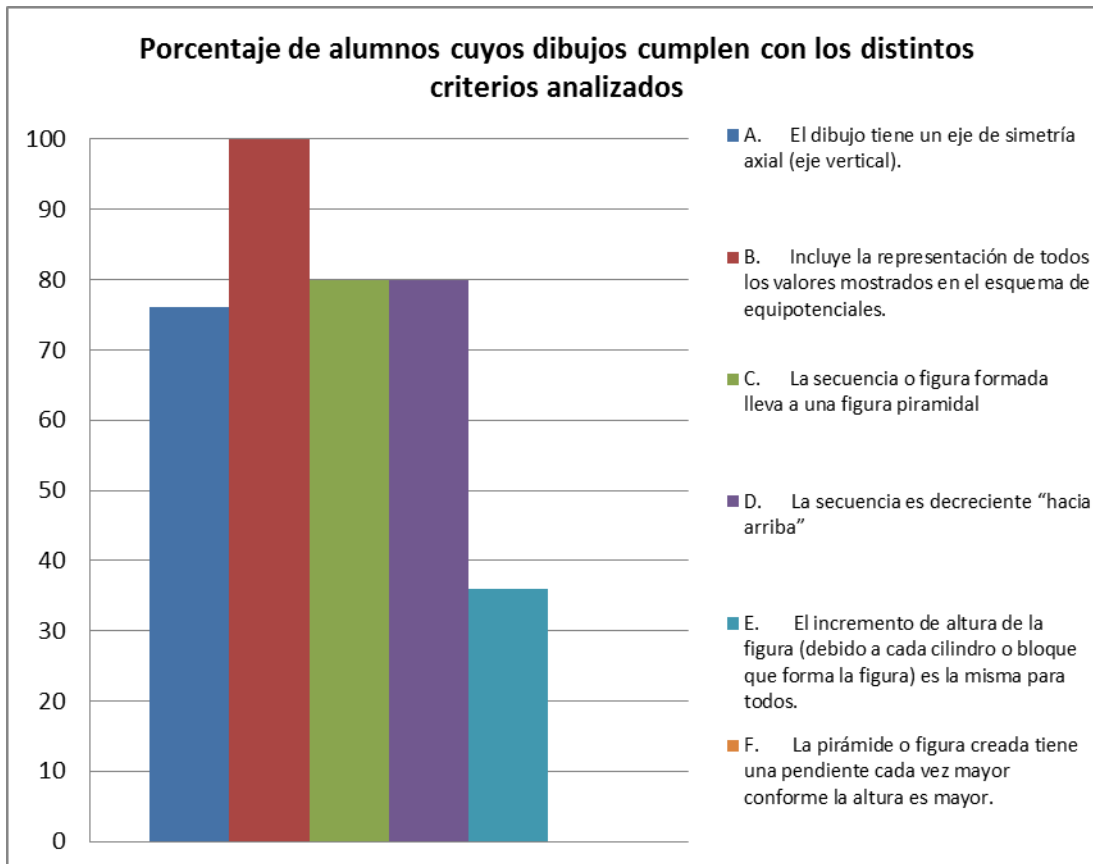
La siguiente tabla muestra los criterios seleccionados y la gráfica el porcentaje de alumnos cuyo dibujo, por categoría, cumplió con el criterio establecido:

Criterios o aspectos analizados:

- A. El dibujo tiene un eje de simetría axial (eje vertical).
- B. Incluye la representación de todos los valores mostrados en el esquema de equipotenciales.
- C. La secuencia o figura formada lleva a una figura piramidal
- D. La secuencia es decreciente “hacia arriba”
- E. El incremento de altura de la figura (debido a cada cilindro o bloque que forma la figura) es la misma para todos. Los elementos (Equipotenciales igualmente separadas).



- F. La pirámide o figura creada tiene una pendiente cada vez mayor conforme la altura es mayor.
- G. Utiliza una pendiente continua.



**Ilustración 25:** Porcentaje de alumnos cuyos dibujos cumplieron con los criterios característicos del campo electrostático debido a una carga puntual.

Fue notorio que, mientras el 100% los alumnos incluyeron en sus dibujos todos los valores numéricos que acompañaban al diagrama de potencial, sólo un 30% se percató de que el aumento de voltaje entre cada equipotencial era el mismo y que la distancia entre las equipotenciales consideradas no era constante, por lo que la pendiente asociada al potencial (gradiente espacial) no podía ser constante. Ninguno de los alumnos estableció una asíntota vertical en el punto en el que se encuentra la carga.

Por otro lado, se consideraron tres aspectos complementarios durante el análisis de los dibujos, obteniéndose los siguientes resultados.

- Utiliza una pendiente continua (1) o una escalinata (15)
- Selecciona una perspectiva lateral (17) o diagonal (8) para realizar su representación
- Incluye el símbolo de la carga en la parte superior. Sí (8), No (17).

El tercer caso permitió concluir que la representación se mantiene en un nivel menos abstracto al de la representación científica, pues se incluye una representación de la carga “sobre” la curva de equipotencial como se muestra en la siguiente figura:

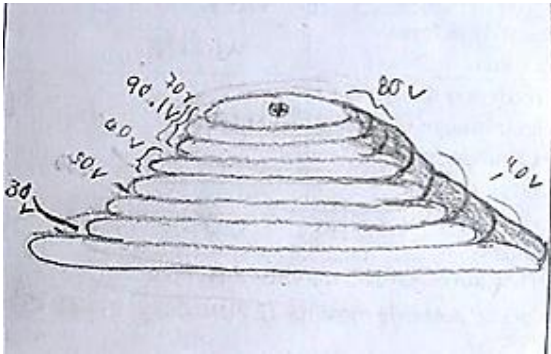


Ilustración 26: Dibujo donde se muestra una representación de la carga "sobre" la superficie que presenta el potencial eléctrico, lo que implica un nivel de abstracción distinto al de la representación científica.

La estrategia permitió que los alumnos realizaran dibujos con una aproximación que puede considerarse “alta” respecto al referente científico desde la perspectiva sintáctica. No obstante, parecería ser que los alumnos se quedan en un nivel concreto, donde los elementos visuales no llegan a ser representaciones del “mundo electromagnético”, sino que se mantienen como representaciones del “mundo topográfico”.

Debido a ello la analogía entre isóclinas y equipotenciales parece solucionar unos aspectos, pero al mismo tiempo provoca otras dificultades.

Parecería que una ventaja del trabajo es el desarrollo o al menos fomento, de las habilidades relacionadas con la traducción de representaciones de una dimensión espacial a otra, así como las habilidades viso espaciales asociadas con la rotación de objetos en el espacio.

Debe considerarse, por otro lado, que asociadas al uso de representaciones planas de fenómenos físicos tridimensionales aparecen dificultades no sólo en las habilidades, sino en el manejo de la información por las limitaciones propias de la transformación. El siguiente apartado explicita algunas de estas dificultades.

#### **4.2.1.3. Dificultades asociadas al uso de representaciones planas de fenómenos físicos tridimensionales: representación plana del campo eléctrico de una carga puntual.**

Para ayudar al alumno a construir el concepto de campo eléctrico generalmente se recurre al uso de representaciones planas, a pesar de que sabemos que el campo es tridimensional. Esta “traducción” del mundo tridimensional hacia las representaciones planas, conlleva no sólo dificultades de “escritura”, sino también de “lectura”, tanto al momento de interpretar lo directamente representado, como cuando se desea hacer

uso de dicha representación para deducir nuevos resultados o construir nuevos conceptos.

En el caso de una carga puntual en el espacio el campo eléctrico queda determinado por la Ley de Coulomb, donde la disminución del campo (y de la fuerza) es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Cuando se trabaja con la representación plana de las líneas de campo, se encuentra una aparente contradicción al tratar de interpretar la densidad de líneas de campo utilizando el flujo a través de círculos concéntricos (en cuyo centro se encuentra la carga), pues dicha densidad sigue una relación inversamente proporcional al radio de los círculos y no inversamente al cuadrado de dichos radios. Esta confusión se debe a que la representación plana no tiene las mismas características geométricas del espacio tridimensional. Lo que debería calcularse es la densidad de líneas de campo en la superficie de dichas esferas y no a partir de los círculos sugeridos por la representación plana. El problema es que los alumnos (y también muchos maestros) no se percatan de la situación. Surge la pregunta de cómo llevar a alumnos y maestros a valorar de manera crítica los modelos visuales que usan y los elementos representacionales asociados. Ello, en primera instancia significa reconocer la analogía, delimitando semejanzas, diferencias y rangos de validez.

Esta dificultad que se presenta al utilizar la imagen puede describirse como una *dificultad para utilizar de manera crítica y eficiente la imagen externa bidimensional como representación de fenómenos del mundo tridimensional.*

#### 4.3. PROPUESTA PARA UNA EVALUACIÓN GRADADA DE LAS IMÁGENES EXTERNAS REALIZADAS POR LOS ALUMNOS

##### 4.3.1.1. Definición de objetivos relacionados con el uso de la imagen

Uno de los problemas que se presentaron a lo largo de la práctica docente fue la necesidad de definir objetivos de aprendizaje. Durante las prácticas tradicionales se acostumbra adoptar los objetivos programáticos como objetivos de aprendizaje, sin embargo éstos generalmente son poco definidos en el sentido de que mencionan las temáticas y sugieren evidencias de aprendizaje, pero no necesariamente establecen el grado de profundidad con el que los temas deben ser “aprendidos”, quedando esto último a juicio del maestro. Tampoco se establece si el énfasis debe ponerse en los aspectos cualitativos o en los aspectos cuantitativos, siendo éstos últimos adoptados por muchos maestros, bien sea por repetir las prioridades con las que ellos aprendieron o bien porque los aspectos cuantitativos parecen más fáciles de dominar y de evaluar, pues generalmente se reducen a la mecanización y aplicación de procedimientos dados por el maestro y se califican con resultados correctos o erróneos.

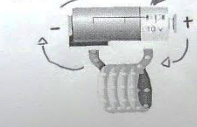
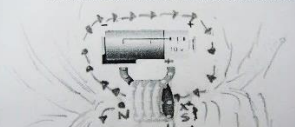
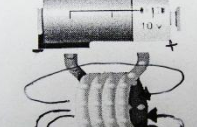
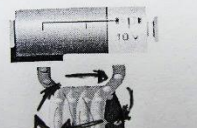
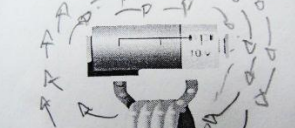
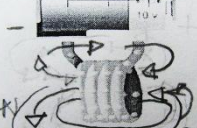
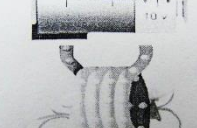
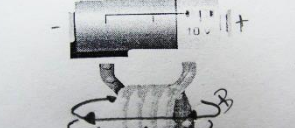

Cuando se plantean formas distintas de enseñanza, con ellas deben también establecerse nuevos objetivos y nuevas formas de evaluación.

En ese sentido, las perspectivas desde las que se abordó el trabajo durante la práctica docente requirieron la búsqueda y replanteamiento de objetivos, que en ocasiones no llegaron a ser explícitos, pero que de alguna manera están presentes en las actividades y secuencias didácticas propuestas.

Considerando que previamente al estudio no se conocía el tipo de respuestas que darían los alumnos a las actividades propuestas, la explicitación sobre qué evaluar y las formas de hacerlo, así como las posibles categorizaciones, se fueron construyendo paralelamente al proceso de aplicación. El análisis de las respuestas permitió organizar la información recabada relacionando las características de las representaciones hechas por los alumnos y las soluciones y procedimientos usuales desde la perspectiva científica, que fueron considerados como referentes.

Esto condujo a plantear categorías basadas en el análisis sintáctico de las representaciones visuales externas realizadas por los alumnos, donde las categorías fueron creadas al “desarmar” la representación científica en los elementos visuales básicos de física y en las relaciones entre dichos elementos que implican aspectos semánticos en el área de la física.

Como ejemplo de lo anterior en la siguiente tabla se muestran algunas de las respuestas obtenidas al pedir a los alumnos que representaran mediante un dibujo el campo magnético debido a un electroimán:

<p>1.- Haz un dibujo del campo magnético debido a la corriente en un electroimán.          Ventaja desde frente:            Sale de + a -          o de N a S.          2.- Selecciona cuál de los siguientes imanes creará un campo magnético anterior:</p>	<p>Ayóndote en la información anterior realiza lo siguiente:          1.- Haz un dibujo del campo magnético debido a la corriente en un electroimán.            2.- Selecciona cuál de los siguientes imanes creará un campo magnético anterior:</p>	<p>1.- Haz un dibujo del campo magnético debido a la corriente en un electroimán.  </p>
<p>1.- Haz un dibujo del campo magnético debido a la corriente en un electroimán.  </p>	<p>1.- Haz un dibujo del campo magnético debido a la corriente en un electroimán.  </p>	<p>1.- Haz un dibujo del campo magnético debido a la corriente en un electroimán.            2.- Selecciona cuál de los siguientes imanes creará un campo magnético anterior:</p>
<p>1.- Haz un dibujo del campo magnético debido a la corriente en un electroimán.  </p>	<p>1.- Haz un dibujo del campo magnético debido a la corriente en un electroimán.  </p>	<p>1.- Haz un dibujo del campo magnético debido a la corriente en un electroimán.            2.- Selecciona cuál de los siguientes imanes creará un campo magnético anterior:</p>

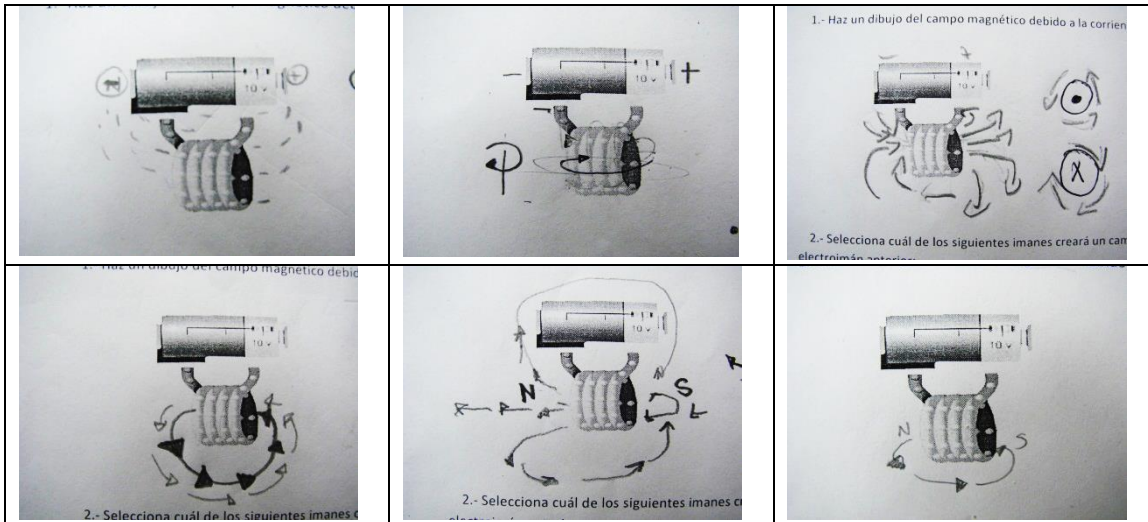


Tabla 1: Respuestas de los alumnos al pedir que representaran mediante un dibujo el campo magnético debido de un electroimán (cuya representación se incluía)

#### 4.3.1.2. Criterios de evaluación en el caso de las representaciones del campo magnético asociado a un electroimán.

Para la evaluación de las representaciones se consideraron los siguientes criterios:

1.1 *El dibujo presenta líneas o algo que represente al campo magnético.* En este caso se está evaluando la presencia (o no) de elementos visuales representacionales de las líneas de campo (que son considerados elementos visuales básicos en física), más allá de su correspondencia con la representación “científica” de las líneas de campo magnético.

1.2a *Las líneas de campo son líneas continuas.* La continuidad es una de las características de la representación científica de las líneas de campo magnético. Ella es importante porque sirve para establecer que el campo magnético y el espacio son continuos. Es una información representada en los elementos visuales individuales.

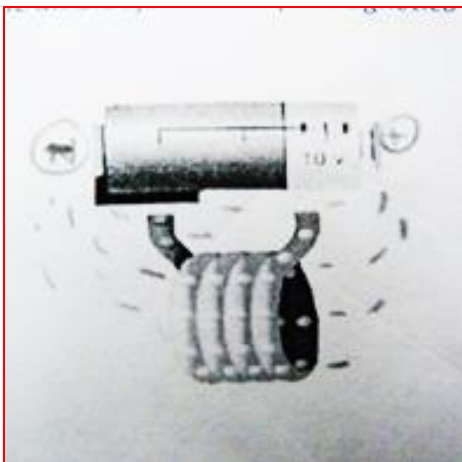


Ilustración 27: Ejemplo en que las líneas que representan al campo no son continuas.

1.2b *Las líneas de campo muestran trayectorias cerradas.* Esta característica, junto con la continuidad, representa la ausencia de fuentes y sumideros de campo magnético, es decir, la inexistencia de monopolos magnéticos. Nuevamente es una información que debe incluirse en los elementos visuales de manera individual.

1.3a *Simetría 1: Las líneas de campo están presentes en ambos lados del solenoide.* Este criterio sólo considera la presencia de elementos visuales que indiquen que se ha considerado que el campo magnético “rodea” al electroimán en todas las direcciones posibles, independientemente de la simetría en la densidad espacial de las líneas de campo (relacionada con la intensidad del campo magnético) o de la “extensión espacial” de cada línea (establecida en el punto siguiente). Aquí se trata de una relación entre elementos visuales, y no de elementos visuales de manera independiente.

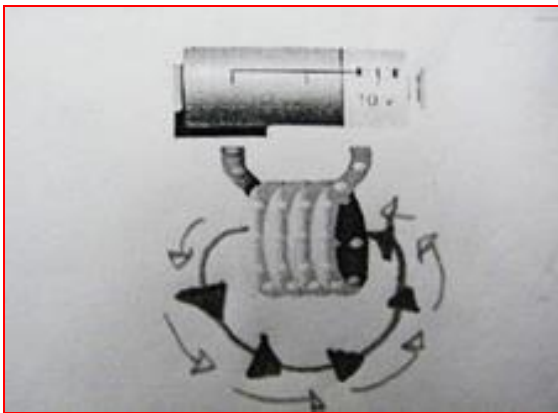


Ilustración 28: Ejemplo de pérdida de simetría de las líneas de campo (respecto al eje del solenoide); se han representado líneas en la parte inferior del solenoide pero no así en la superior.

1.3c *Simetría 2: Las líneas de campo tienen la misma longitud en ambos lados del solenoide.* La longitud de las líneas de campo magnético establece la *forma* del campo. Aunque puede relacionarse con la intensidad del campo, se relaciona más con la geometría del solenoide y con las características del medio que lo rodea. Líneas muy cortas pueden indicar que el campo magnético está confinado en regiones más pequeñas del espacio. Se trata de una relación entre elementos visuales, y no de elementos visuales de manera independiente.

1.4 *Se presentan dos o más líneas y no se intersectan una con otra.* La presencia de más de dos líneas es necesaria para representar la intensidad del campo magnético en distintas regiones del espacio (la intensidad se representa por medio de relación entre líneas (la densidad espacial de líneas). La no intersección de líneas es requerida para establecer la unicidad del campo magnético en un punto del espacio para un instante de tiempo dado; es decir, se establece el campo magnético como una función de  $R^4$  en  $R^3$ , donde el dominio queda definido por las tres coordenadas espaciales más una coordenada temporal (físicamente pertinentes) y el codominio representa los valores del campo magnético en cada punto del espacio-tiempo. Se trata de una



relación entre elementos visuales, y no de elementos visuales de manera independiente.

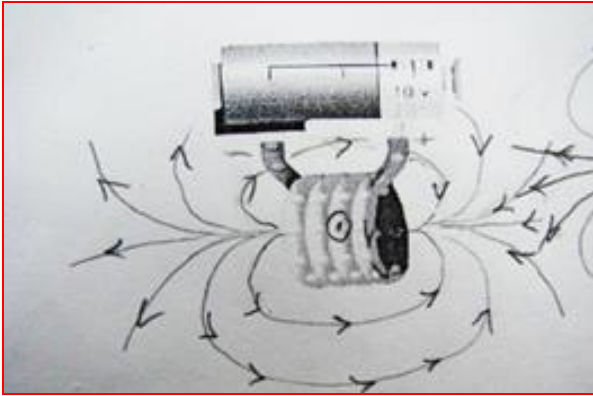


Ilustración 29: Ejemplo donde se muestra la intersección de dos o más líneas de campo magnético.

1.5 *La forma de las líneas es cualitativamente "correcta"*. Se refiere a que el campo magnético en este caso está formado por líneas suaves (continuas con derivadas espaciales continuas), cerradas, formando en su interior un conjunto convexo en el plano que las contiene (si el espacio es homogéneo e isótropo). La información es contenida en cada elemento visual de manera individual, pero relacionada con el contexto espacial.

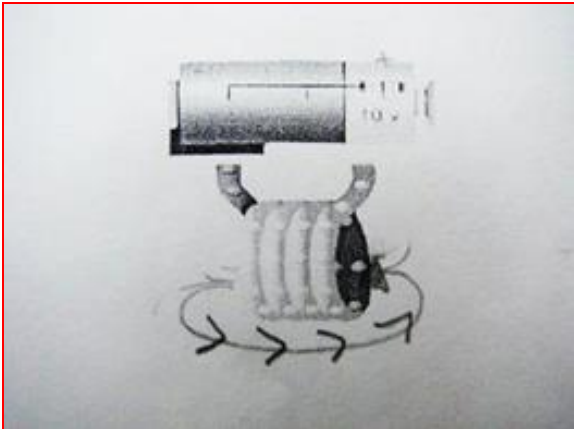


Ilustración 30: Ejemplo en que una línea de campo se ha representado de manera cualitativamente correcta.

1.6 *Las líneas de campo magnético parecen emerger del interior del solenoide.* Esto implica relacionar la fuente del campo con el solenoide y no con la pila. La información establece una relación entre elementos visuales representativos del campo magnético con elementos visuales representativos de la espira del electroimán.

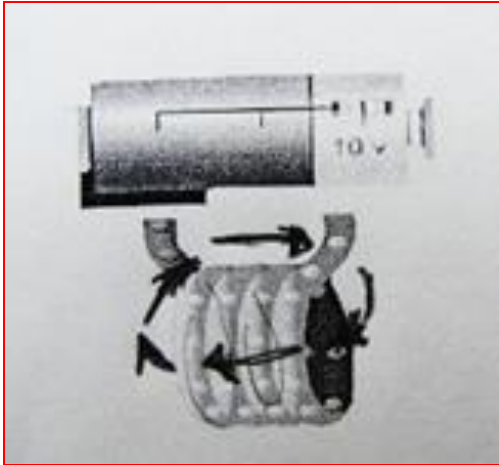


Ilustración 31: Ejemplo de líneas de campo magnético que parecen no emerger del "interior" del solenoide.

1.7 *Los polos norte y sur del electroimán corresponden con el efecto de la corriente creada por la pila.* Se refiere a que en caso de haber representado los polos en el electroimán, éstos coincidan con la dirección de la corriente según lo establece la Ley de Ampere. En algunos casos los alumnos asocian el campo con los extremos positivo y negativo de la pila o se utilizan criterios distintos para establecer la polaridad; por ejemplo, no se entiende que la corriente sigue la trayectoria espiral que implica el solenoide, sino que se piensa que avanza en línea recta de un extremo a otro del solenoide, en ese caso asocian el polo norte del imán al lado de donde "sale" la corriente (que coincide con el lado en que se encuentra el extremo positivo de la pila). Se trata de una relación espacial entre elementos visuales presentes (representación de la pila, de los electrodos de la pila, del alambre en forma de solenoide) y elementos visuales que deben ser deducidos (corriente eléctrica en la espira, dirección de la corriente eléctrica en la espira, campo magnético asociado con la corriente en la pila).

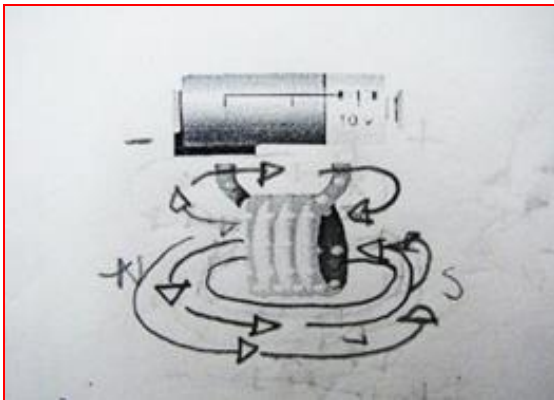


Ilustración 32: Ejemplo en que los polos del campo magnético se han asociado a la pila y no al solenoide.



1.8 *La dirección de las líneas de campo coincide con los polos magnéticos del electroimán.* La dirección de las líneas de campo sólo considera si las líneas van de un polo al otro, sin tomar en cuenta si el sentido (categorizado en 1.9) es correcto o no. Deben relacionarse dos elementos no presentes en la imagen inicial: orientación de los polos magnéticos del electroimán y líneas de campo magnético.

1.9 *El sentido de las líneas de campo, (externas al solenoide) coincide con líneas que van del polo norte al polo sur.* Esto se refiere al sentido de las líneas de campo establecido por la Ley de Ampere y encontrada de manera práctica a partir de la regla de la mano derecha aplicada a la corriente en la espira. Si se han incluido los nombres de los polos asociados al electroimán, el criterio lleva a calificar la relación que indica que (externamente al electroimán) las líneas de campo van del polo norte al polo sur. Deben relacionarse dos elementos no presentes en la imagen inicial: localización y diferenciación de los polos magnéticos del electroimán y líneas de campo magnético.



**Ilustración 33:** Ejemplo en que la dirección de las líneas ha sido representada correctamente pero el sentido de las mismas está invertido según la Ley de Ampere.

Tomando en cuenta que la evaluación debe realizarse sobre conceptos que están en construcción, se consideró apropiado utilizar una evaluación gradada, esto es, no considerar las representaciones presentadas por los alumnos como correcta o incorrecta, sino como una aproximación más compleja, compuesta por múltiples elementos visuales y relaciones entre ellos. Para ello, cada una de las categorías antes mencionadas fue considerada para establecer un espectro de la aproximación sintáctica y se utilizó una evaluación sumativa en cada uno de los aspectos mencionados.

Con esta evaluación se asociaron valores numéricos a la presencia de los elementos de cada categoría. Como primera aproximación se asoció el mismo valor numérico a cada categoría, quedando para una investigación posterior el crear funciones de peso que consideren la importancia de cada elemento o relación entre elementos representacionales dentro de la construcción conceptual.

### **4.3.1.3. Dificultades para trasladar a una representación plana la información del campo magnético de un solenoide.**

A pesar de que la representación del solenoide en el plano es útil para plantear un modelo análogo de lo que ocurre en el espacio, la analogía tiene algunas dificultades conceptuales relacionadas con la transformación que lleva la información espacial al plano.

- El dibujo es sólo una perspectiva del fenómeno real. En este caso la perspectiva ha sido seleccionada por el creador de la imagen del solenoide, lo que constriñe las representaciones del alumno.
- Se pierde la simetría espacial, o si se representa puede incluir ambigüedades.
- La imagen debe ser considerada como una proyección del fenómeno tridimensional sobre el plano del dibujo, no como un “corte” del espacio con dicho plano.
- La presencia de la pila puede deformar las líneas de campo magnético (caso real), pero en la representación propuesta la presencia del elemento visual asociado a la pila “estorba” de manera pragmática la realización de las líneas mientras se dibujan. La deformación aparente del campo en la representación plana, presente en algunos casos, puede deberse a la segunda causa, y no a que los alumnos quisieran representar la deformación del campo “real”.
- Formalmente las curvas que representan a las líneas de campo magnético deben continuar dentro del solenoide (por ser cerradas), sin embargo esto es difícil de evaluar debido a que debería poderse representar el interior del solenoide sin caer en ambigüedades, por ejemplo sin utilizar líneas punteadas para representar lo que ocurre en el interior, pues se pierde la condición establecida en el punto 1.2a.

### **4.4. VALORACIÓN DE LOS ALUMNOS RELATIVA AL USO DE LA IMAGEN DURANTE EL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA FÍSICA**

Al inicio y al final de la tercera etapa se pidió a los alumnos que contestaran un cuestionario de opinión con el que se buscaba conocer cuáles eran sus ideas con relación al uso de simuladores en clase. Se consideraron 4 aspectos distintos:

- Grado de utilidad de los diferentes tipos de actividades propuestas para el aprendizaje de la física durante el curso.
- Valor motivacional asociado al uso de simuladores en el curso de física.
- Utilidad del uso de simuladores como apoyo para la comprensión de aspectos asociados al conocimiento físico.
- Grado de dificultad que los alumnos perciben respecto a las actividades propuestas.

En el primer y cuarto incisos, la encuesta permite crear dos categorías, que a su vez sirven para contrastar la percepción entre las actividades asociadas al curso base y aquellas asociadas al uso del simulador. Por otro lado, se pidió a los alumnos su opinión sobre el uso de simuladores a partir de respuestas abiertas a las preguntas:

La encuesta se realizó al inicio del segundo semestre de trabajo con un mismo grupo, con la intención de registrar algún cambio en la valoración que los alumnos pudieran hacer del uso de imágenes antes y después de su inclusión durante las actividades de evaluación/calificación (exámenes), aunque debe considerarse que el uso de los simuladores fue modificado también debido al cambio de las temáticas disciplinarias entre un semestre y el siguiente.

Para responder las preguntas asociadas con el uso de simuladores durante el examen, se requería interpretar conceptualmente representaciones obtenidas mediante los simuladores (Ver Anexo IV).

Como las respuestas fueron objeto de una evaluación/calificación, es de esperarse que lo que miden las encuestas sea el cambio de percepción no únicamente debido al uso de los simuladores como apoyo al aprendizaje, sino que también refleje el valor epistémico que los alumnos dan a la evaluación numérica (calificación).

En ese sentido se realizó un análisis interpretativo sobre las respuestas de los alumnos ante los diferentes aspectos relacionados con el uso de la imagen, siendo los resultados más importantes el considerar que los alumnos valoran la “utilidad de las actividades para el aprendizaje” en función de lo que se evalúa (califica) durante el curso, y probablemente no considerando las actividades de aprendizaje desde una perspectiva metacognitiva. Estos resultados fueron reportados como se puede observar en el anexo III.

## 5. CONCLUSIONES

En esta sección se establecen tres tipos de conclusiones que corresponden a cada uno de los objetivos planteados:

### **5.1. Conclusiones respecto al modelo propuesto para explicar el papel de la imagen y las dificultades de lectoescritura durante el proceso enseñanza-aprendizaje de conceptos, procesos y fenómenos físicos.**

Se propuso un modelo para explicar el papel de la imagen durante el proceso enseñanza aprendizaje de la física, que a su vez sirviera como marco teórico para localizar el origen o causa de algunas de las dificultades que emergen con dicho uso. El modelo parte de considerar la complementariedad de dos escalas de observación que se entretajan en el aula.

En la escala mayor el proceso enseñanza-aprendizaje se concibe como un proceso de comunicación y por ello las teorías de comunicación visual permiten establecer algunas variables asociadas con las dificultades en la lectura y escritura de imágenes durante dicho proceso. Maestros y alumnos alternan los papeles de emisor y receptor mientras la imagen externa funge como uno de los medios con los que el mensaje es transmitido. En esta escala las dificultades pueden ser vistas y catalogadas como deficiencias en el acto de comunicación, asociadas a las interacciones emisor-mensaje-receptor, dentro de un contexto dado.

Desde esta perspectiva el origen de algunas de las dificultades de lectoescritura de la imagen pueden asociarse al emisor, al receptor, al mensaje o al contexto en un sentido amplio, aunque las dificultades en el uso están en la interacción, por ejemplo en una intención no compartida entre emisor y receptor, o en la asociación de niveles de abstracción distintos en una misma situación.

Algunas dificultades emergen de contextos donde la imagen es considerada autoevidente pues ni la intención ni los códigos son explicitados. Tampoco se cree necesario detenerse a analizar qué es lo que el emisor ha querido expresar ni que es lo que el receptor ha interpretado. Una consecuencia de esa postura es que lectura y escritura de la imagen se ven limitadas a un uso prácticamente ilustrativo, que es asequible a emisores y receptores conformes con la primera impresión que la imagen causa.

Si se desea utilizar la imagen con fines más profundos, que incluyan el análisis crítico necesario para la construcción conceptual, resulta pertinente voltear hacia las teorías de comunicación pues previenen sobre los aspectos a tomar en cuenta para lograr una comunicación eficaz, sobre todo cuando el mensaje es complejo.

La explicitación de los códigos, de la intención, del contexto y de las similitudes y diferencias en las interpretaciones que sobre una misma imagen realizan alumnos y

maestros podría ser una vía para tratar de reducir las brechas que se abren en la comunicación y por lo tanto en el proceso enseñanza aprendizaje.

En la escala menor (considerando el interior del alumno), el modelo contempla que las dificultades surgen debido a la complejidad en la lectura y la escritura de imágenes como representaciones de aspectos de una realidad que, entre otras cosas, debe ser vista a través de un filtro conceptual aún en construcción.

En ese sentido no sólo se pide al alumno que represente aspectos de la realidad como él la ve, sino que los represente de manera acorde al filtro que el maestro (vía la transposición didáctica) considera apropiado.

La tarea se torna compleja pues implica construcción en varios frentes, que abarcan el qué, el cómo, el cuándo y el para qué los elementos representacionales están siendo utilizados en una situación dada.

Para ello el alumno no únicamente debe interpretar la acción a realizar, sino además realizar las acciones con o sobre la imagen considerada como base de la situación.

Esas acciones son en sí mismas mucho más complejas de lo que suele pensarse y en mucho contrarias a la noción popular de auto evidencia. Aún acciones consideradas “sencillas”, como “seleccionar un elemento”, requieren el uso de modelos mentales o de esquemas mediante los cuales el alumno pueda hacer frente a la situación. Tal selección implica establecer vínculos entre teoría y práctica, dilucidando los aspectos a través de los cuáles la selección es llevada a cabo. Esta coordinación entre lo interno y lo externo cuando el sujeto cuenta con una teoría “completa” o esquemas pertinentes, puede ser “trivial”, pero cuando la selección forma parte del proceso de construcción conceptual puede tornarse sumamente difícil o equívoca.

Suponer que la imagen es autoevidente implica menospreciar los procesos cognitivos que deben llevarse a cabo durante su lectoescritura, pero también negarla como factor de pensamiento profundo o de vía para la construcción conceptual.

La necesidad de plantear una perspectiva que vaya más allá de la física al hablar de enseñanza de la física, surge la imposibilidad de hacer frente a los problemas mencionados. La comunidad de expertos en física, con algunas excepciones, no considera ni los problemas que emergen de la comunicación ni las dificultades cognitivas como fuentes de dificultad, sino que, en todo caso, se culpa a la complejidad de los conceptos transmitidos o a la actitud del alumno, pero nunca al maestro como emisor (excepto cuando se alude a su incapacidad disciplinaria).

El modelo considera que, para un uso eficaz y más profundo de la imagen durante el proceso de enseñanza aprendizaje de la física, el maestro debe considerar la integración de lo interno y lo externo a partir de concientizar la importancia de la comunicación y de la psicología cognitiva para entender el proceso, haciendo a un

lado las creencias de auto evidencia de la imagen o de autosuficiencia de la disciplina para la enseñanza. Pero tampoco se plantea que la comunicación visual o la psicopedagogía son suficientes para enfrentar las dificultades que emergen del uso de la imagen en la enseñanza de la física, pues ésta tiene sus propios códigos de comunicación y formas de representar y conceptualizar la realidad. Las diferentes áreas deben ser integradas para poder entender y en su caso atender las dificultades emergentes y para conseguir un uso eficaz y más profundo de la imagen.

El modelo es apenas una pincelada, se considera una idea que debe ser pulida y puesta en práctica para establecer hasta dónde puede ser útil o si debe ser reformulado o desechado. Pero plantea la necesidad de una integración multidisciplinaria cosa que generalmente es vista con cierto desprecio.

## **5.2. Conclusiones sobre la detección, análisis y clasificación de algunas de las dificultades de lectoescritura de la imagen que presentan los alumnos de un grupo de física introductoria del Colegio de Ciencias y Humanidades, cuando la imagen externa se utiliza para la representación y para la comunicación de conceptos, procesos y fenómenos físicos.**

Las actividades permitieron detectar algunas de las dificultades que emergen tanto en la lectura como en la escritura de imágenes cuando se les utiliza como vehículo para enviar o leer información.

El problema de elaborar actividades de naturaleza dual (útiles para recabar información pero también con objetivos específicos hacia el aprendizaje de la física) conlleva la necesidad de integrar diferentes áreas de conocimiento pero también de profundizar en el análisis de los conocimientos, habilidades y actitudes hacia la propia disciplina. No solamente al encontrarse con dificultades para seleccionar y jerarquizar los temas por su relevancia disciplinar, sino para establecer las habilidades que resulta relevante desarrollar considerando la población con la que se trabaja.

Dado que las imágenes realizadas por los alumnos son consideradas evidencia interpretable, se propuso un análisis semiótico (sintáctico y semántico), donde se enfocó la atención en las similitudes y diferencias de interpretación entre alumnos y maestros, así como en el grado de cercanía entre las representaciones realizadas por los alumnos y las representaciones científicas.

Se propuso enfocar la atención en lo que hemos denominado elementos básicos visuales en física, que serían los elementos visuales (sintácticos) mínimos con un significado desde la perspectiva física, así como también en las relaciones (espaciales o temporales) entre dichos elementos. Se notaron algunas dificultades en el uso de dichos elementos y de sus relaciones, por ejemplo hay elementos que son detectados mientras que otros son deformados o incluso ignorados.

Mediante actividades que expliciten los elementos y relaciones entre elementos sintácticos utilizados en las representaciones visuales externas es posible incrementar la similitud de las representaciones realizadas por los alumnos respecto a las representaciones científicamente aceptadas, sin embargo una mayor semejanza sintáctica no garantiza una comprensión más profunda desde la perspectiva semántica.

El uso de categorías sintácticas permite realizar una primera clasificación de las dificultades asociadas con el uso de la imagen, considerando qué tanto se aproxima una imagen al referente científico. Para una categorización semántica estas categorías no parecen ser suficientes, sino que se requiere constreñir la interpretación que el maestro da a la imagen/evidencia considerando otro tipo de representaciones externas (visuales o no).

Otro tipo de categorización (también incipiente) de las dificultades que presentan los alumnos fue propuesta para tratar de describir algunas de las causas que los llevan a cometer “errores” en la interpretación de las imágenes que se les presentan. Con ello se confirmó el papel de las ideas previas y de los códigos no compartidos como fuente de aquellas dificultades.

El uso de imágenes ha mostrado ser útil como herramienta de evaluación de conceptos físicos. No obstante una evaluación detallada resulta compleja debido al tiempo necesario tanto para la creación de categorías de evaluación como por los tiempos requeridos para llevar a la práctica evaluativa dichas categorías.

### **5.3. Conclusiones relacionadas con la necesidad de considerar la alfabetización visual en física como un elemento integral de los cursos de física de educación media donde se pretende el aprendizaje conceptual significativo.**

Se propuso definir *alfabetización visual en física* como el conjunto de competencias necesarias para que el individuo participe activa y críticamente del lenguaje visual y de los medios visuales de comunicación, usuales en una sociedad tecno-científica, estableciendo vínculos entre aquellos y las dimensiones conceptual, procedimental y afectiva propias de la física. Esta definición, aplicada al proceso enseñanza aprendizaje de la física, implica no sólo el desarrollo de habilidades (por ejemplo, saber traducir de una representación visual externa a otra) y conocimientos (por ejemplo, conocer los códigos y los elementos visuales básicos en física), sino también las actitudes de los alumnos hacia el uso de la imagen como ayuda para la construcción, representación y comunicación de conceptos, procesos y fenómenos físicos.

A partir del estudio es posible concluir que las creencias ontológicas y epistemológicas de los estudiantes y del maestro son un factor que afecta el uso que se hace de la imagen y de las representaciones múltiples durante el proceso enseñanza-aprendizaje de la física.

La alfabetización visual en física está poco desarrollada: Los alumnos participan sólo superficialmente del lenguaje visual asociado a la física, no logrando establecer las relaciones entre la dimensión procedimental (creación o uso de las representaciones visuales como objetos) y la dimensión conceptual (imagen como representación). Así mismo la contradicción entre el discurso y el acto parecen indicar que existe, desde la dimensión afectiva, una relación poco favorable entre el sujeto y la imagen como elemento para el aprendizaje conceptual. Es posible proponer actividades con RM en un contexto escolar mayoritariamente tradicional, pero éste limita los usos, las intenciones y los objetivos con los que la imagen es usada. Los alumnos parecen no concebirlas como agentes útiles para el aprendizaje y la construcción conceptual. La imagen es considerada menos valiosa que las fórmulas para el aprendizaje de la física.

En un alto porcentaje los alumnos parecen no concebir la dualidad representación/objeto que acompaña a la imagen. Ésta es entendida más como objeto memorizable (aprendizaje asociativo) que como representaciones del mundo físico. Esto parece análogo a lo que ocurre con otros tipos de representaciones, como ocurre en el caso de las ecuaciones de movimiento, que son utilizadas como objetos pero que pierden su valor como representaciones pues los alumnos aprenden a operar con ellas sin lograr establecer su significado físico.

El uso efectivo de simuladores como auxiliares para el aprendizaje de conceptos requiere un cambio epistémico por parte de los alumnos, pues a pesar de que en el discurso afirman su utilidad, no lo llevan a la práctica de manera sistemática.

Al incluir preguntas relacionadas con Representaciones Múltiples (lecto-escritura de imágenes, uso de simuladores) como elementos centrales en los exámenes, las respuestas de los alumnos con relación a la importancia del uso de las RM cambiaron hasta equipararse en valor con aquel dado a las actividades del curso base. Esto no implica que los alumnos hayan cambiado sus creencias epistemológicas, pues las respuestas podrían explicarse desde la noción de que “lo importante” es aquello que se pregunta en el examen, independientemente del valor intrínseco que tenga o de su utilidad para la construcción conceptual.

Para poder utilizar las imágenes y en general las representaciones múltiples de manera más eficiente y profunda se requiere que maestros y alumnos desarrollen diferentes competencias. Dada la escasa alfabetización visual en física, los primeros pasos parecen ser muy lentos y requieren de un avance cuidadoso. Se torna necesaria la atención y acompañamiento en las construcciones que hacen los



aprendices, principalmente de aquellos que presentan dificultades para usar las representaciones visuales, con el fin de ayudarlos a desarrollar las habilidades, conocimientos y actitudes favorablemente. Ello requiere de la creación de actividades específicas, de las condiciones (temporales y materiales) para producirlas, implementarlas y evaluarlas.

Debe evaluarse la relevancia y pertinencia de reenfocar los objetivos de los cursos de física hacia el desarrollo de competencias paralelas a las que tradicionalmente y objetivos considerados estrictamente disciplinarios, han sido asociadas a ellos. En particular se propone considerar espacios para la alfabetización visual en física.

### **5.3. Perspectivas del trabajo futuro.**

La necesidad de desarrollar en los alumnos la alfabetización visual en física obliga a pensar en nuevos tipos de actividades donde se utilicen elementos de lectoescritura de la imagen de manera más profunda. Esto implica no conformarse con la percepción de los elementos sintácticos, sino involucrar a los alumnos en la interpretación y crítica de las imágenes que ven. También implica hacer a un lado la perspectiva que concibe la imagen en todos sus formatos como obvia o autoevidente, para prestar más atención a los procesos involucrados en su lectoescritura. Una breve propuesta con la que se ha intentado ejemplificar el tipo de actividades que pueden llevarse a partir de la lectoescritura de imágenes capturadas a partir de nuevas tecnologías (ver anexo V). En él se incluye tanto una explicación para el profesor como una propuesta de actividad para el alumno.

# ANEXOS

## ANEXO I: EJEMPLOS DE ACTIVIDADES PROPUESTAS CENTRADAS EN EL USO DE LA IMAGEN

### EJEMPLO DE SITUACIONES RELACIONADAS CON CINEMÁTICA

Evaluación diagnóstica 2: CINEMÁTICA.

Forma de trabajo: EN EQUIPO.

Una madre y su hijo juegan en la playa. En un momento en que se encuentran separados cierta distancia (puntos señalados con flechas), corren uno hacia el otro, cada uno con rapidez constante. Al encontrarse se abrazan.

La madre al correr da dos pasos cada segundo, mientras que su hijo da tres pasos en el mismo tiempo, aunque los pasos del hijo son más cortos.

Sus huellas quedaron marcadas en la arena, pero una ola borró parte de ellas, incluido el punto en que se encontraron, como se muestra en la siguiente figura 1:

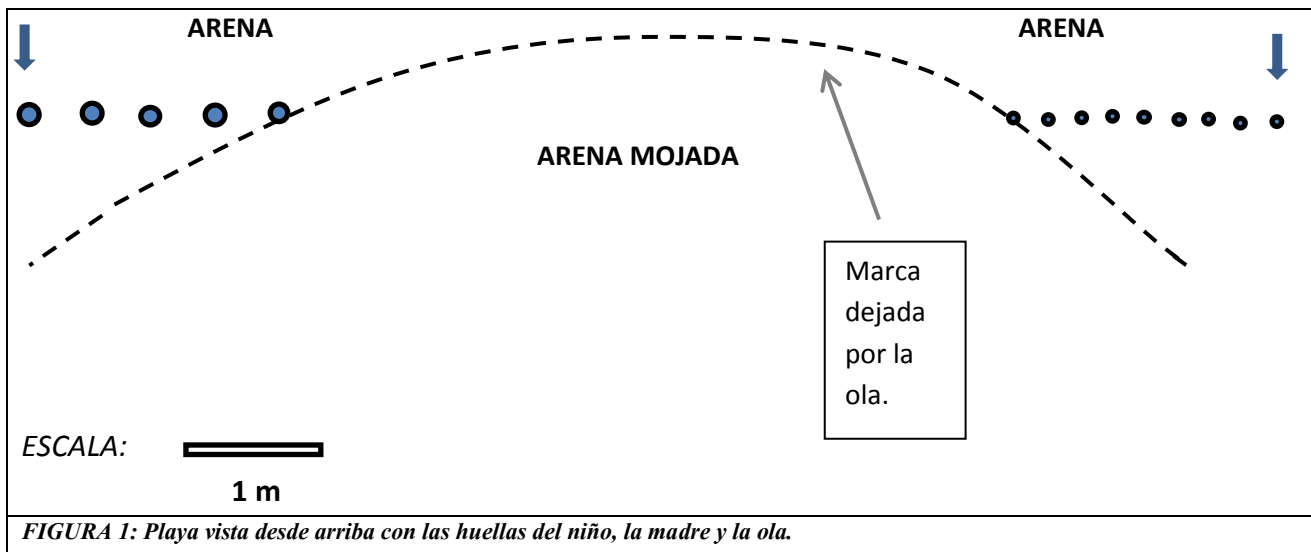


FIGURA 1: Playa vista desde arriba con las huellas del niño, la madre y la ola.

A partir de la información dada (verbal y gráfica), contesta las siguientes preguntas:

1.- ¿Quién corría más rápido, la madre o el hijo?

- A) La madre.
- B) El hijo.
- C) Corrían con la misma rapidez.
- D) Con los datos dados no es posible saber quién viajaba más rápido.

JUSTIFICACIÓN:

---

---

---

2.- ¿Cuántos pasos dio el niño antes de abrazar a su madre?

- i) Si crees que es posible, realiza el cálculo y explica el procedimiento que seguiste.
- ii) Si crees que no es posible, explica por qué.

ACTIVIDAD tipo C: Contesta cada una de las siguientes preguntas.

1.- ¿Cuánto mide cada paso de la madre? Justifica tu respuesta.

---

---

2.- ¿Cuánto mide cada paso del hijo? Justifica tu respuesta.

---

---

3.- ¿Cuánto tiempo tarda la madre en dar un paso? Justifica tu respuesta.

4.- ¿Cuánto tiempo tarda el hijo en dar un paso? Justifica tu respuesta.

5.- ¿Cuál es la rapidez de la madre? Justifica tu respuesta.

6.- ¿Cuál es la rapidez del hijo? Justifica tu respuesta.

7.- ¿Quién va más rápido. La madre o el hijo? Justifica tu respuesta.

8.- ¿Qué distancia hay entre la madre y el hijo cuando empiezan a caminar uno hacia el otro?

9.- Si la madre estaba en la posición  $X=0$  cuando comienza a caminar hacia su hijo ¿Cuál era la posición del hijo en ese instante? \_\_\_\_\_

10.- Tomando en cuenta las posiciones iniciales de madre e hijo completa la siguiente tabla de posiciones contra tiempo:

Tiempo después de comenzar a caminar uno hacia el otro (en segundos)	Número de pasos dados por la madre	Posición de la madre	Número de pasos dados por el hijo	Posición del hijo
0	0			
1				
2				
3				
4				
5				

11.- ¿Cuándo se encontraron madre e hijo? Justifica tu respuesta.

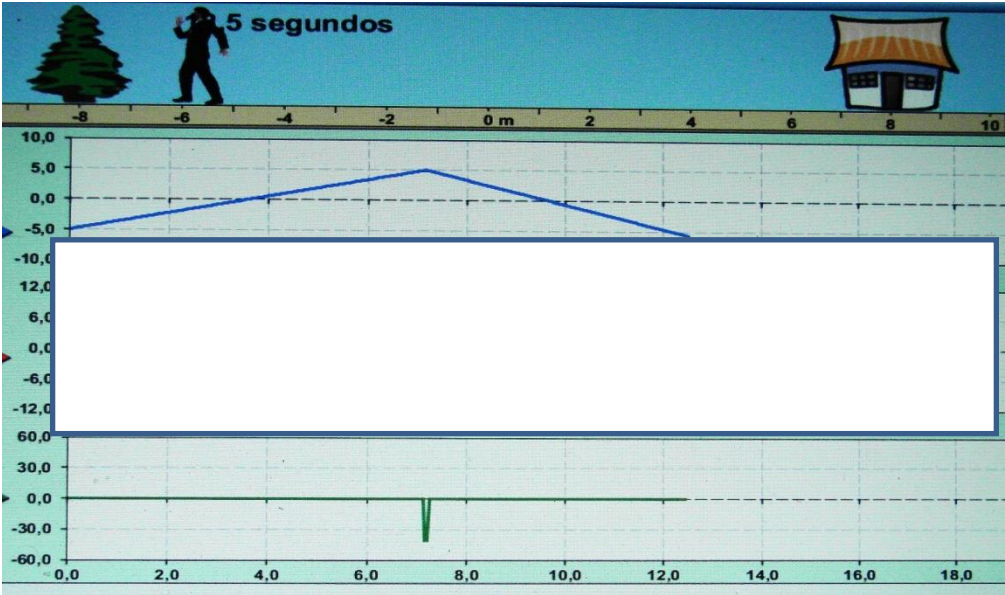
---



---

**EJEMPLO DE SITUACIONES RELACIONADAS CON EL USO DE SIMULADORES EN CINEMÁTICA**

La siguiente ilustración corresponde a una foto de un simulador de movimiento (Moving man/Phet). En ella se muestran las gráficas de posición contra tiempo y de aceleración contra tiempo, pero se ha borrado la gráfica de velocidad contra tiempo.



Utilizando los datos que aparecen en ella contesta las siguientes preguntas:

1.- ¿Qué posición tenía el hombre en el tiempo 0 segundos? \_\_\_\_\_

Justifica tu respuesta: \_\_\_\_\_

2.- ¿Aproximadamente durante cuánto tiempo se movió el hombre hacia la casa? \_\_\_\_\_

Justifica tu respuesta: \_\_\_\_\_

3.- ¿Aproximadamente cuál fue el valor de la velocidad mientras el hombre se movió hacia la casa?

\_\_\_\_\_

Justifica tu respuesta: \_\_\_\_\_

4.- ¿Aproximadamente cuál fue el valor de la velocidad mientras el hombre se alejaba de la casa?

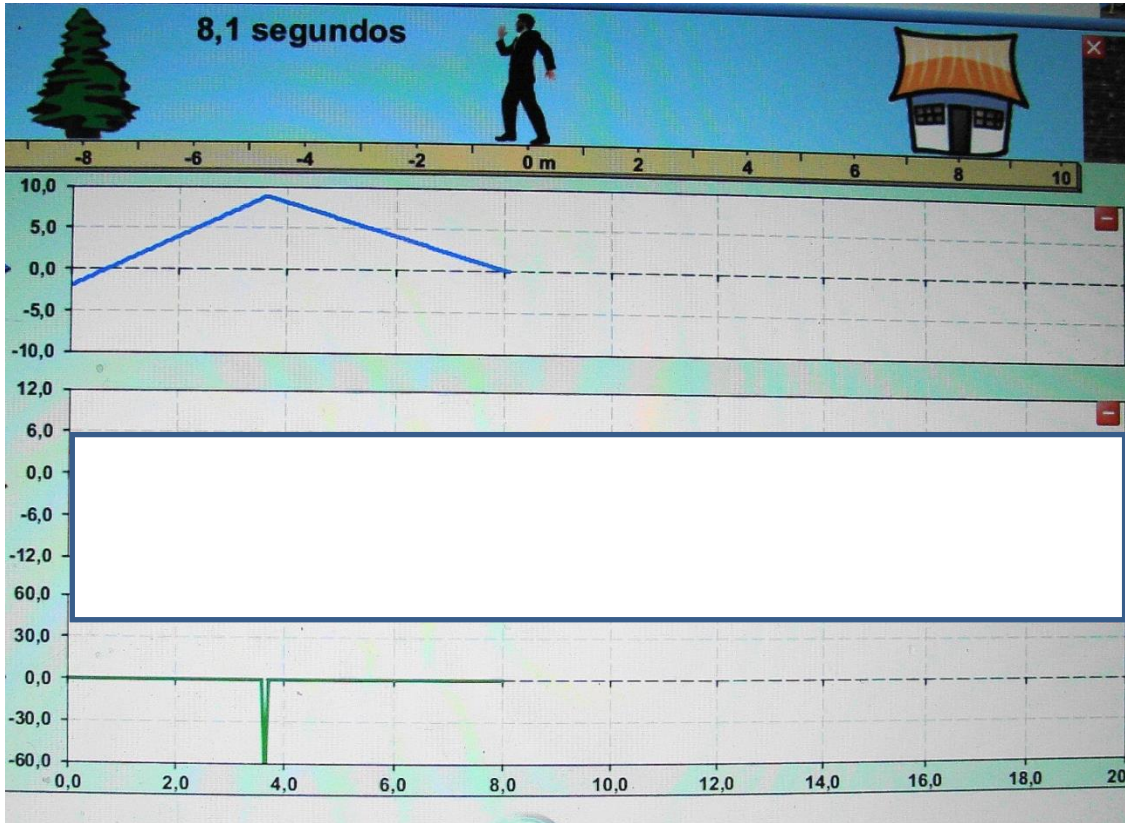
\_\_\_\_\_

Justifica tu respuesta: \_\_\_\_\_

5.- ¿Llegó el hombre hasta la casa?: \_\_\_\_\_

Justifica tu respuesta: \_\_\_\_\_

La siguiente ilustración corresponde a una foto de un simulador de movimiento (Moving man/Phet). En ella se muestran las gráficas de posición contra tiempo y de aceleración contra tiempo, pero se ha borrado la gráfica de velocidad contra tiempo.



A partir de la información de la imagen contesta (de la forma más aproximada que puedas) cada una de las siguientes preguntas:

1.- ¿De qué posición partió el hombre (es decir, dónde estaba en el tiempo  $t=0$  seg.)? \_\_\_\_\_

Justifica tu respuesta: \_\_\_\_\_

2.- ¿Pasó el hombre junto a la casa? ¿Cuándo? \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_

Justifica tu respuesta: \_\_\_\_\_

3.- ¿Cuánto tiempo caminó el hombre hacia la casa? \_\_\_\_\_

Justifica tu respuesta: \_\_\_\_\_

4.- ¿Cuánto tiempo caminó el hombre alejándose de la casa? \_\_\_\_\_

Justifica tu respuesta: \_\_\_\_\_

5.- ¿Cuál fue la velocidad del hombre mientras se alejaba de la casa? \_\_\_\_\_

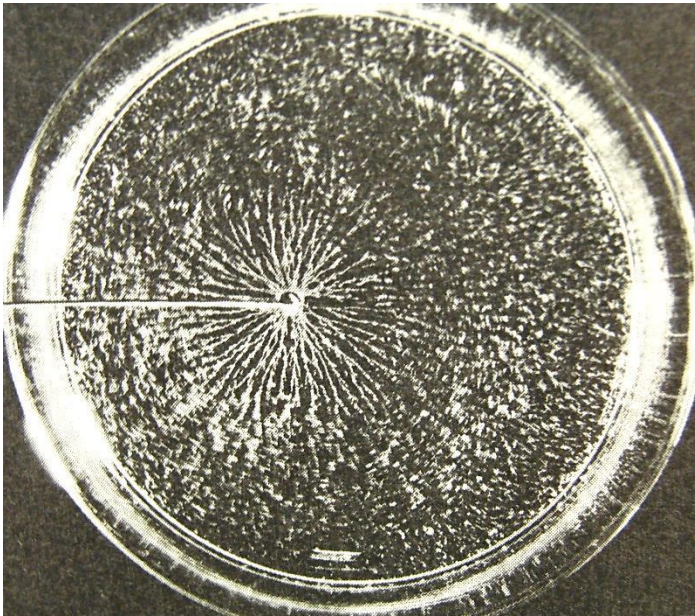
Justifica tu respuesta: \_\_\_\_\_

### **EJEMPLO DE SITUACIONES RELACIONADAS CON ELECTROSTÁTICA**

Ejercicios sobre algunas representaciones visuales relacionadas con el concepto de campo electrostático.

La siguiente fotografía representa la forma en que se ordenaron semillas de pasto puestas en un recipiente con aceite, al cargar eléctricamente un conductor inmerso en él.

Obsérvala, realiza y responde lo que se pide o pregunta a continuación.

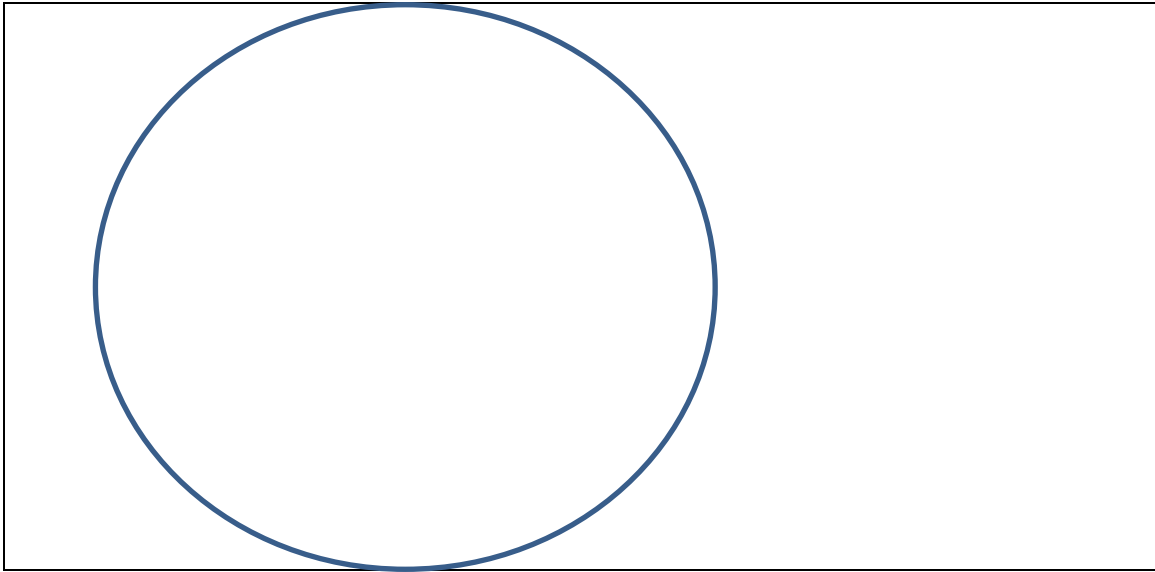


1.- Sobre a fotografía señala cada uno de los siguientes elementos:

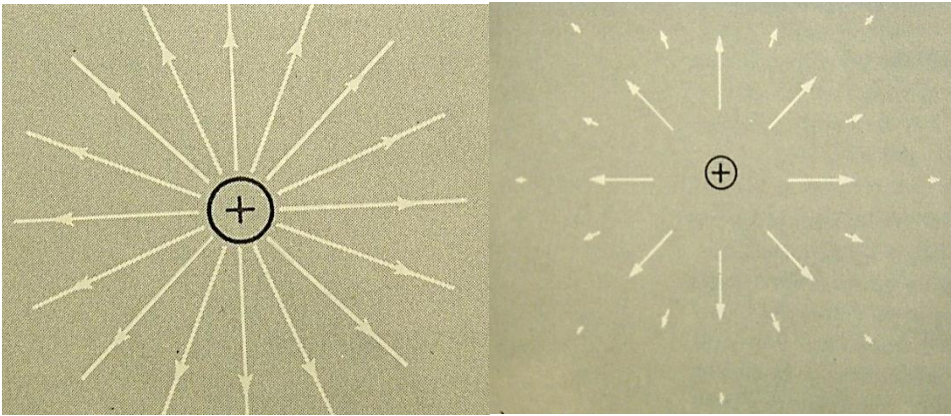
- A) Conductor cargado
- B) Zona del conductor sumergida en el aceite.
- C) Semillas de pasto

2.- Dibuja la forma del campo creado por la carga eléctrica e indica en que zonas se localiza la carga, especificando las zonas donde hay más carga, donde hay menos y dónde no hay.





3.- La representación de un campo electrostático puede hacerse al menos de dos formas, utilizando lo que se denominan “líneas de campo” o utilizando “vectores”. Ambas son similares, pero no idénticas. Abajo se presentan ambas para el caso del campo creado por una carga eléctrica positiva:








Sin tomar en cuenta la diferencia de escalas para representar la carga, encuentra tres semejanzas y tres diferencias y escríbelas a continuación.

Comparación entre la representación del campo usando líneas de campo y utilizando vectores	
SEMEJANZAS	DIFERENCIAS
1.-	1.-
2.-	2.-
3.-	3.-

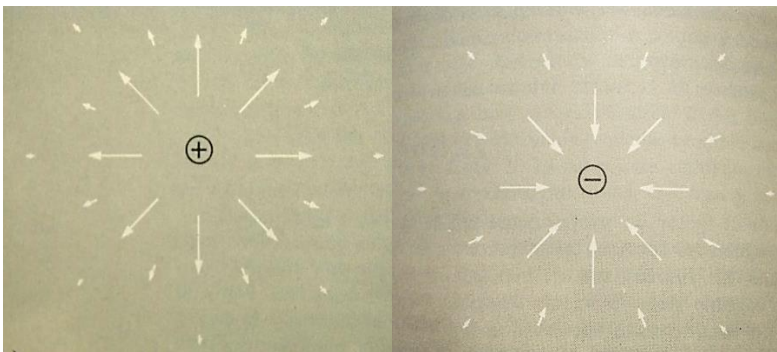
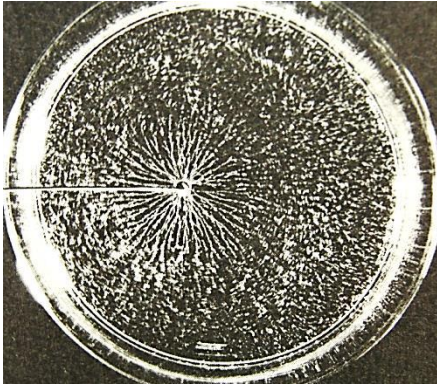
4.- En la columna izquierda de la siguiente tabla se representa vectorialmente el campo eléctrico debido a una carga. Selecciona entre los vectores, cuál podría representar en forma más aproximada, el campo eléctrico debido a la misma carga, pero al doble de la distancia anterior. Explica tu elección.

Representación vectorial del campo eléctrico.	
Representación vectorial del campo debido a una carga $q$ a una distancia $r$ .	Representación vectorial del campo debido a una carga $q$ a una distancia $2r$ .

	A)	
	B)	
	C)	
	D)	

EXPLICACIÓN: \_\_\_\_\_

5.- A continuación se muestran las representaciones vectoriales de los campos electrostáticos creados por una carga positiva y por una negativa. Comparándolos con la fotografía ¿Es posible determinar con qué tipo de carga (positiva o negativa) se cargó el conductor en este caso? Explica tu respuesta.



RESPUESTA Y EXPLICACIÓN:

---



---



---



---



5.- Las siguientes fotografías muestran la forma en que se “ordenan” semillas de pasto puestas en un recipiente con aceite, al cargar eléctricamente dos conductores inmersos en el aceite.

FOTO A

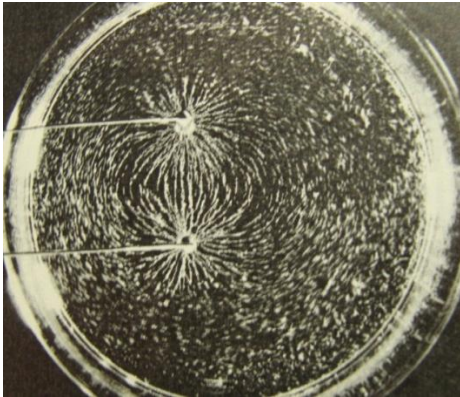
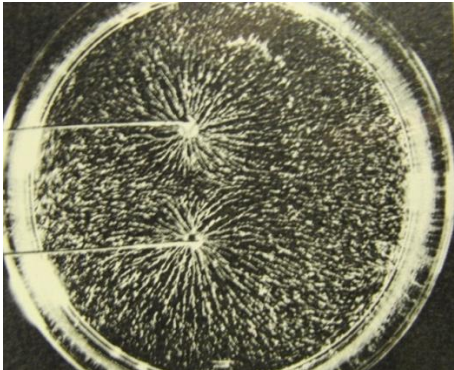
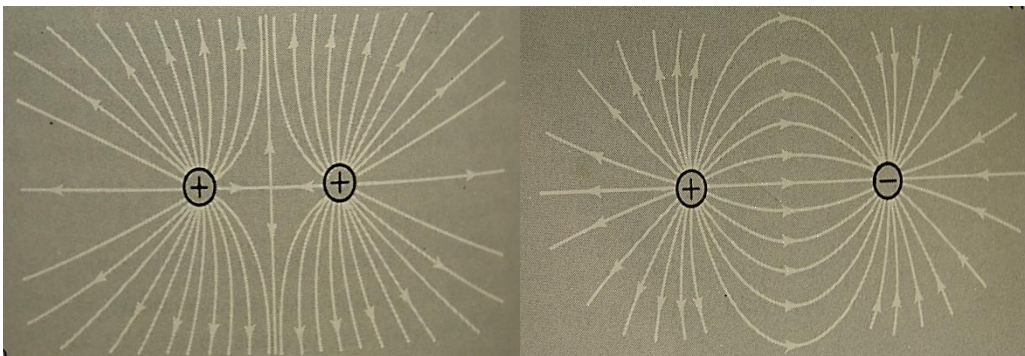


FOTO B



Compara las fotos con los esquemas de líneas de campo dados a continuación y explica cuáles deben ser los signos de las cargas en los conductores representados en cada foto.



## Interpretation and use of the image in high school physics courses



<sup>1</sup>Guillermo Neumann, <sup>2</sup>Pilar Segarra

<sup>1,2</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

E-mail: [gnumanncoto@yahoo.com.mx](mailto:gnumanncoto@yahoo.com.mx), <sup>2</sup>[psegarra@ciencias.unam.mx](mailto:psegarra@ciencias.unam.mx)

### Abstract

In the context of the scientific technological society, the transmission of information through visual media takes central importance. However, the use of images, far from being trivial or direct, requires that people reflect, review and analyze the information so that it is transformed into knowledge. The use of an external image as a way to help students to build mental representations is currently a main area of study in science education. The research we are doing is to use the image as a teaching strategy to assist the development of visual literacy in physics. Such research is outlined in three phases: exploration, implementation and evaluation, and will be carried out in real high school classroom. The results obtained in the course of the exploration stage indicate that, in activities focused on the reading of an external image, students produced alternative interpretations, not only omitting information present in the image, but reformulating and even adding information which is not deductible from the explicit context. We believe that these results work first as a diagnostic evaluation to learn some aspects of mental representations of the students and second to allow the teacher implement strategies for pupils so that they develop mental representations which are closer to those accepted by science. This paper presents the results of the exploration phase in the themes of waves and electromagnetism.

**Keywords:** image interpretation, visual representation, methods in physics education

### Resumen

En el contexto de la sociedad tecno científica, la información a través de medios visuales toma una importancia crucial. No obstante, lejos de ser el uso de la imagen trivial o directo, requiere de mecanismos que permitan al individuo participar de manera activa, eficaz y crítica para que dicha información se transforme en conocimiento. La utilización de imágenes externas como una forma de ayudar a los estudiantes a construir representaciones mentales es actualmente una de las líneas de investigación en didáctica de las ciencias. La investigación que estamos realizando, tiene como objetivo crear algunas estrategias didácticas basadas en el uso de la imagen, que permitan coadyuvar al desarrollo de la alfabetización visual en física. Dicha investigación está planteada en tres fases: exploración,

implementación y evaluación. Los resultados obtenidos durante la primera etapa indican que, al plantearse actividades cuyo centro es la lectura de imágenes externas, se presentan entre los alumnos interpretaciones alternativas que, entre otras cosas, no solamente omiten información presente en aquellas, sino que reformulan e incluso añaden información no deducible desde el contexto explícito. Pensamos que esas interpretaciones sirven, por un lado, como evaluación diagnóstica que nos permite aprender algo sobre las representaciones mentales de los estudiantes y segundo permite al maestro implementar estrategias para los alumnos de manera que puedan desarrollar representaciones mentales que sean más cercanas a las aceptadas por las ciencias. Este trabajo presenta los resultados de la fase exploratoria en las áreas de ondas y electromagnetismo.

**Palabras clave:** interpretación de imágenes, representación visual, métodos en didáctica de la física

## I. PRESENTATION OF THE PROBLEM AND BACKGROUND

In today's society image is omnipresent and can make us victims of an image that supposedly speaks for itself and requires no further explanation. In this context it is pertinent to ask about the role played by the image in the teaching-learning process and their relation with the skills to be promoted among students of high school.

In general, one of the characteristics of ICTs has been the use of the image as a means of conveying information. Nevertheless the mere transmission of information is not the purpose of the media, but the assimilation of it by the recipients. This means that recipients must be able to retrieve the information, relating text and images to their previous knowledge and ideas; however it is uncertain in what percentage they are able to recover and assimilate that information.

It is needless to conduct a systematic investigation to realize that significant areas of the textbooks of physics at all levels are filled with images. Perales and Jimenez [1] conducted an investigation of the use of illustrations in textbooks and develop taxonomy for classification. They conclude that in the texts analyzed by them the most common use of the image is decorative; so the question on the use of the image to the learning of physics becomes more pressing. Elsewhere the same author [2] concludes that the images should not be considered as mere contemplative objects but that it is needed to work with them intensively: observing, modifying, criticizing and replacing them in different contexts in order that they may contribute to active learning. Another study [3] points out that to learn meaningful form a text accompanied by illustrations, assumes the existence of a dual processing

channel, and the combination of linguistic and visual resources must be done with a clear relationship.

Some researchers point out a low value of the image element to increase meaningful learning of concepts in physics [4] as a result of a comparative study between two groups, one under a traditional teaching and the other subjected to intensive but demonstrative use of images. They state that the visual representation requires certainly a different treatment than the mere display and its usefulness, in that study, apparently focuses on motivation.

On the other hand a study [5] in a population of university students points out some advantages and difficulties in using multiple representations, particularly when considering the relationship between textual and visual representations, concluding: that, most multimedia enabled better identification and construction of relations of higher diversity, accuracy, description, and novelty, than did the textual display and that curriculum designers and teachers should be aware of cases in which rich multimedia constrained performance. Researchers in the field of communication [6] suggest that the increase in media has not brought an increased in media literacy of the media generation.

By contrast, research from the area of psychology [7] seem to support the idea that, although the use of the image is not the solution to educational problems, it can provide valuable input directed toward developing learning skills which practices does not stimulate an encyclopedic learning of disciplinary content.

The image continues to play a secondary role in most physics courses in Mexico. Although images are sometimes used in the courses to illustrate the problematic context

(e.g. mass and spring system) or as a mechanism of conceptual representation (e.g. graphics methods for representing vectors) or for abstract representations of relationships between sets of data (e.g. graphics functions), reading and study of the image is not an end in itself, leaving aside its evaluation and development of associated skills.

These results lead to posing the question of research on the use to be given to the images in classroom to ensure that students may read them. We called it "visual literacy in physics" *"The set of skills necessary for the individual to participate actively and critically of the visual language and visual communication, common in a techno-scientific society, establishing links between them and the conceptual, procedural and affective dimensions of physics"*

The definition of visual literacy contradict the popular assumption that the images do not require further interpretation, but rather it is assumed that the reader needs another skill to interpret its content. Among the elements of visual literacy in physics, one of the cores is the development of students' ability to read and create images related to physical phenomena. Within the classroom, each student must play the role of interpreter of the images presented by the teacher (at least ideally), and should establish one or more meanings in agreement to the context in which it is presented.

The process of interpretation involves the introduction of a series of cognitive processes that could be interpreted from different theoretical frameworks depending on the activity. These are Ausubel's Theory of Meaningful Learning, Johnson-Laird's Theory of Mental Models or Vergnaud's Conceptual Fields Theory or an integration of them [7]. With these conceptual bases it is assumed that the use of external images can help in developing mental representations more suited to science. From these references a necessary condition is to raise interpretative processes of the external image that may result in content knowledge

## II. METHODOLOGY

The research was conducted in a group of a public high school in Mexico City, with 27 students of both sexes, ranging in age from 16 to 18 years. In an interview only about 10% of the students stated a vocational interest in the areas of mathematics or physics, and none of them looked at the physical and occupational choice. The style of the teacher shares features of traditional instruction although he is flexible.

The research was carried out in the units of Waves, Electricity and Magnetism. From the didactical point of view, each unit was originally divided into four phases that together constitute what we call a module. For purposes of the investigation, the modules were modified by adding two phases that led to the use of the image, inserting the first one between practical experience and theoretical development with the intention of establishing a bridge between them (figure 1). In the phase "activities with fixed images related with experimental phenomena" solution of questionnaires were carried out, where the central element was reading or drawing the image (photographs, diagrams or sketches). Each questionnaire addressed different aspects of both the knowledge and skills that the student need to use in the solution of the problems posed, from the gathering information of an external image to the creation of drawings. Also, in some cases students were asked to justify their answers. Once obtained, the student responses were analyzed and grouped for classification.

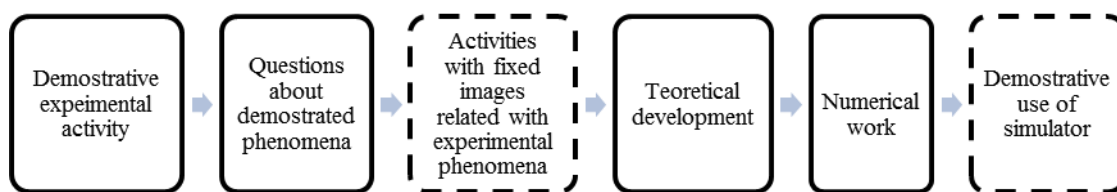


FIGURE 1. Phases of the didactic units, the two added modules are shown in dotted lines

### III. RESULTS

*Case 1:* Postulation of forces to explain the phenomena. Context: Representation of the electric field due to a charge of unknown sign.

Students were presented with a photograph of the pattern formed with grass seed by an electric charge of unknown sign and two vectorial schemes that represent the electric field due to a negative electrical charge and the electric field due to a positive charge, respectively. Students were asked to compare the photograph with the schemes and decide whether based on it, they can or not determine what kind of charge was associated with the pattern shown in it. In this case 65% (13/20) of the students expressed that it is possible to determine the type of charge with the given information and 35% (7/20) answered no. Only 28% (2/7) correct answers included a proper justification, referring to visual information as a basis for their argument (e.g. because in the photograph they cannot appreciate the direction of seeds). 56% (4/7) correct answers justification does not take into account the necessary visual information.

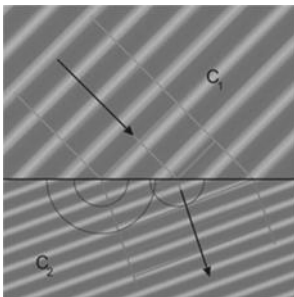
Among those who said that it is possible to determine the type of charge, up 62% (8 / 13) assumed or postulated a force or movement (attraction (5) / repulsion (3)) and hence deduce the sign of the charge and the effects: "It is negatively charged because the charges move grass inward", "It is positive charge, because in the images below is shown that a positive charge repels straws or they go in the opposite direction when the charge is negative".

Because the image is fixed, we believe that in this case the students retake elements created during the laboratory experience and add them to the information given in the questionnaire.

*Case 2:* Common language interfering on the interpretation of the question. Context: Frequency change in the representation of a refracted wave.

From the pictorial illustration of a refracted wave, obtained from the Internet (figure 2), students were asked to answer 4 questions and explain their answers about the relationship (greater than, less than, equal to) of the values of wave variables (length, velocity, and refractive index) between the two media. The percentages of correct answers (from the physical point of view) are: wavelength 89%; velocity 41%; frequency 0%; refraction index 70%. The highest percentage of correct answers (89%) was obtained for the relationship between wavelengths, which seems to correspond to the direct association between image and concept: link wavelength-distance between parallel lines, compare these distances and select the greater. However, none of the students (0%) had a completely correct answer, which would appeal to graphic information properly. 19% of students (5/27) mentioned the observed distance between crests (or valleys) and the comparison between these distances in the two cases, but made some mistakes or inaccuracies in the language. 22% (6/27) associated correctly with the visual element but made errors in their arguments: *because the size of the white stripes is larger*. Another 22% (6/27) confused the meaning of the terms in the common and scientific language: *the wavelength is greater because the disturbance is less frequent*. Here they use the term "frequent" as a feature of the spatial density pattern as is often used in Spanish. The remaining 33% (9/27) lacked justification, at least partially acceptable: *Since lines are skinnier, there is a higher wavelength*. One case (4%) appealed to a justification relating the media: *Due to the way the wave moves in the medium*. This justification is difficult to classify.

On the other hand, the question with a lower number of correct answers was that on the wave frequency. In this case, all students chose to select the medium 2 as one in which the wave is moving with more frequency; that means that none (0%) of students selected the correct answer (medium 1). Among the reasons given for choosing medium 2 was *the larger number of waves* i.e. greater spatial density (67% (18/27). 26% (7/27) justify from the shortest distance between stripes. The remaining 7% (2/27) is not justified.

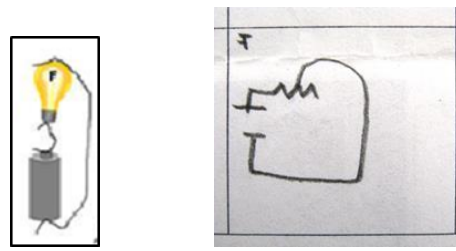


**FIGURE 2.** Illustration of refracted wave used as reference for the comparison of wave parameters in two media.

We believe that in this case students are being influenced by the meaning given to the word frequency in everyday life, which is often associated with "more of ...." Thus, reading "where the frequency is higher" they read into "where there is more (waves)"

*Case 3: Iconic rigidity.* Context: Representation of circuits

Students were presented with a series of drawings (pictorial representation) of electrical connections including the basic elements of a circuit (source, cables, battery). Although not used complex elements (capacitors, coils, etc.) some of the connections showed unusual shapes. In these cases answers which showed difficulty discarding unimportant geometric elements in the schematic representation were detected, such as cables, so that the students changed from the pictorial representation to the schematic one maintaining some geometric characteristics of the first. For example, for the following picture 40% of students made a sketch of the following type:

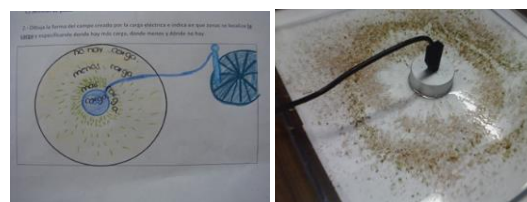


**FIGURE 3.** Pictorial reference and schematic representation done by a student.

The need to know and in some cases justify which of the elements represented in a degree of iconicity should stay and which not when changing to another degree of iconicity representing the same situation, is an aspect that should be worked from visual literacy.

*Case 4: Influence of experience and confusion between cause and visible effect.* Context: Representations of the distribution of the charge on the electric field due to a charged conductor.

A photograph showing the distribution of grass seeds embedded in a non-conductive liquid in which an electric field from a charged conductor had been created. Although in the photograph the charged conductor was a thin metal cylinder (not shown because of copyright), many of the students made sketches (left figure) which seem to correspond better with the laboratory experiment (right photograph).



**FIGURE 4.** Photography of a electric field device and the pictorial representation drawing by student.

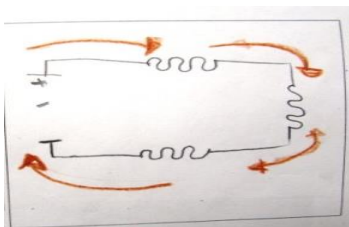
Confusion between the concepts of charge and field as well as between cause and effect were detected. Most of the students associated closeness to the conductor with the highest charge, linking the effect on seed to the charge and not to the field. Behind that it seems to be a conception of the charge as something leaving the conductor and pushing the seeds, being the conductor a source of charge. Also, many of them claimed that at the ends of the experimental device (away from the



conductor) there was not charge (maybe because it did not reach there).

*Case 5: Interference between two iconic representations.*  
Context: Representation of resistance in an electrical circuit.

Some students represented in the same way resistance and wave. They see the same representation in both cases, not distinguishing characteristics that differentiate the graphics, or the contexts in which they apply.



**FIGURE 5.** Pictorial representation of electric circuit elements showing the interference of wave representation.

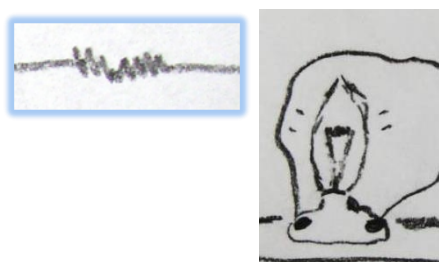
In another case, some students used the same representation to draw the filament of a bulb and that used to represent resistance. When asking them about their drawing they were surprised about that in the circuit diagrams they did not draw the filament.

#### IV. CONCLUSIONS

In this first phase, the research allowed us to establish some of the problems that arose among students for the proper use of the image in physics high school courses.

The influence of "prior knowledge" from both the textual aspect of words (common meaning vs scientific meaning), and from the visual representations (meaning recovery of image of previous situations) seems to affect directly the reading done by students [9]. Also, they seem to make the interpretation of iconic representations considering the most concrete levels.

These aspects should be considered for planning activities in the next step.



**FIGURE 6.** Schematic representation of electric resistance (left) and filament of a bulb (right), showing same iconic level between team.

#### V. REFERENCES

- [1] Perales, J., Jiménez, J.D., *Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto*, Enseñanza de las Ciencias **20** (3) 369-386 (2002)
- [2] Perales, F., *La imagen en la enseñanza de las ciencias: algunos resultados de la investigación en la Universidad de Granada, España*, Formación Universitaria, **1** (4) 13-22 (2008)
- [3] Díaz, L., Pandiella, S., *Categorización de las ilustraciones presentes en libros de texto de tecnología*, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, **6** (2) 424-441 (2007)
- [4] Otero, M.R., Greca, I., Lang da Silveira, F., *Imágenes en el aula y rendimiento escolar en Física: un estudio comparativo*, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, **2** (1) 1-30 (2003)
- [5] Eliam, B. Poyas, Y., External visual representations in science learning: the case of relationships among system components, International Journal of Science Education **32** (17) 1335-2366 (2010)
- [6] Basterretxea, J. I., Jiménez, E., Zarandona, E., Andrieu, A., Ramírez de la Piscina, J. M., *Grados de alfabetización y habilidad audiovisual-digital en la comunidad escolar del País Vasco*. II Congreso Internacional AE-IC Málaga 2010: Comunicación y desarrollo en la era digital (pág. 6) Asociación Española de Investigación en Comunicación Málaga, España. (2010).
- [7] Campos, A., González, M. *Imagen, Inteligencia y Creatividad*, Psicothema, **6** (3), 387-393 (1994).

[8] Greca, I., Moreira, M.A., *La integración de modelos mentales y esquemas para La comprensión de procesos de aprendizaje significativo* en La teoría del aprendizaje significativo en la perspectiva de la psicología cognitiva Rodríguez-Palmero, M.L. (org.) (Ediciones Octaedro S.L., Barcelona, 2008)

[9] Cook, M.P., Visual representations in science education: the influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles, *Science Education* 90, 1073-1091 (2006)



ANEXO III: Ponencia presentada en la “World Conference on Physics Education, 2012” (WCPE 2012) llevada a cabo del 1 al 6 de Julio de 2012, en Estambul, Turquía. (Actualmente en revisión para publicación).

Problems associated with the use of multiple representations in a high school physics course, within the traditional context.

Guillermo Neumann<sup>1</sup>, Pilar Segarra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MADEMS Física, Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

#### **Abstract:**

Multiple External Representations (simulations, graphs, algebraic representations, reading and writing texts) may have two principal goals in a high school physics course: the scientific literacy and the concept construction. In Mexico MER are beginning to be used, but in a context in which the teacher is the main protagonist; learning is measured by solving numerical exercises and writing reports on experimental demonstration activities (traditional context). The purpose of this study is to determine some difficulties to accomplish the goals when introducing MER in a traditional context. The exploratory and qualitative study was conducted over three semesters in a public high school at Mexico City, with three groups of 28 students from high school introductory physics. Various activities were created in which two-dimensional images, still and moving, were the center of attention together with experimental activities. The study shows difficulties for both students and teachers. In the case of students, we detect problems in data extraction, interpretation, relationship between different representations and use of concepts beyond the obvious. Teachers were faced to the problem of creating activities that simultaneously fulfill the objectives of learning and research tools; they also have difficulties integrating within a quantitative scoring system the answers given by students to the new type of activities. We found that although students recognize the importance of simulations for learning, they consider them more difficult and less valuable than traditional forms of teaching closely related to their score. To move from a traditional context to a new context, implies a transition period where inserting multiple representations does not automatically change the traditional context; the development of new materials and different teaching practice is needed. Teachers and students must accept the value of multiple representations. In this paper some activities and evaluation criteria are proposed as an approach to the goals.

#### **1. Introduction**

In the last years, different roles of multiple external representations in learning process have been studied. Some authors conclude that they can help students to construct concepts (Kress and van Leeuwen 1996, cited by Pintó, 2002) and acquire scientific literacy; nevertheless other studies (Otero) show that some contexts seem to hinder the profits. Ainsworth (2006, 2008) proposed that “the effectiveness of multiple representations can be best understood by considering three fundamental aspects of learning: the design parameters that are unique to learning with multiple representations; the functions that multiple representations serve in supporting learning and the cognitive tasks that must be undertaken by a learner interacting with multiple representations”. In traditional context these aspects are ignored, therefore there are no specific criteria for establishing clear paths for the use and evaluation of MER; the benefits and difficulties associated with their use are not well determined. We think that making explicit difficulties associated with context could be a necessary step, besides Ainsworth’s proposal, to find a way to reach the concept construction.

Among the studies that have been conducted on the use of multiple representations Aguilar et al. (Aguilar, Maturano, & Nunes, 2007) used them as a tool for detection of alternative ideas. Gilbert et al. (Gilbert,

Reiner, & Nakhleh, 2008) made a compilation of recent works on various topics around what is called "visualization", emphasizing the implementation of the use of external visual representations in educational practice. They suggest that to achieve the implementation of an educational innovation it must be accompanied by three basic aspects: "practical examples of the innovation must be developed, tried out in classroom, and their use evaluated".

Otero, in her doctoral thesis focused on how external images facilitate, hinder or inhibit the construction of appropriate mental representations to understand, explain and predict in physics, (Otero, 2002, p. 1), while Kohl focused his doctoral work "to understand what factors influence how introductory students succeed or fail in using representations in physics" (Kohl, 2007, p. iii). Kohl defined "representations" as "different ways in which one can communicate situations and physical concepts" (PB Kohl, p. 1). Gilbert proposed that "a model may be expressed with external representations, being those versions physically available to others". Rapp and Kurby (Rapp & Kurby, 2008, page 32.) characterized representations as analogies, simulations, ideas, concepts, or objects. For them an external representation is one that is available in the physical medium, while an internal representation is not available in it, but in the mind of the observer. Internal representations are defined as "information in memory that can be retrieved to generate students' inferences, solve problems and make decisions" (Rapp & Kurby, 2008, p. 29).

Knight (Knight, 2008, p. 31) showed that some physical problems can be solved by an approach that requires "reasoning" with physical concepts, rather than directly apply associated equations. It is also necessary choosing the appropriate representation for a particular situation and not just following procedures that teachers should teach and students should learn. Therefore just asking the students to draw a picture is not enough. Indeed Knight goes further, stating that "a large part of learning physics is to learn how to move forward and backward between different representations of knowledge." Gadgil et al. (Gadgil, Nokes-Malach, & Chi, 2012) showed an application of the image as an instrument for conceptual change. Ainsworth (Ainsworth, 2008, p. 199) mentions three aspects in which the use of multiple representations may contribute to construct deeper understanding (abstraction, extension and relational understanding).

Among the most common multiple representations in physics, Gende (2008, p. 1) lists: verbal descriptions, mathematical interpretations, pictures, graphs, movement diagrams, free body diagrams, circuit diagrams, geometric optical ray tracing.

One of the problems that arise in traditional contexts is that no special activities with MER can be found. These representations are assumed to have a unique interpretation and to be directly accessible to students (self-evident), so explicit aspects of reading are omitted. These issues seem to be easily missed by teachers (Otero, Greca, & Lang da Silveira, 2003) and textbooks authors who associated properties that probably those representations do not have (Perales, 2006). The programs have excessive content and MER are not explicitly considered because one of the priorities of teachers is to finish the program (despite content understanding); so the conditions necessary for a careful analysis like Ainsworth (2008) proposed does not exist. It is supposed that this significantly limits the potential use of MERs.

To move from a traditional context to a new context implies a transition period because trying to work in a constructivist way within a traditional context seems to be contradictory and difficulties are expected.

Research questions are: What difficulties arise when multiple visual representations are used in a traditional context with the goals of attaining scientific literacy and constructing concepts in physics courses? What needs to be change in the context so that significant learning will be achieved through the use of multiple visual representations?

Although there are many meanings associated with the term "concept", in this paper we use the definition proposed by Vergnaud (1990). He defines a concept as a triplet of three sets: the set of situations that give meaning to the concept (the reference), the set of invariants on which rests the operability of the schemes (the meaning) and the set of linguistic forms and language that can represent symbolically the concept, properties, situations and treatment procedures (the signifiers). It is not possible to debate the truth or falseness of a statement fully implicit, making it necessary to use an explicit significant for the conceptualization. There is not generally a one to one relationship between signifiers and signified, nor between invariants and situations

(Vergnaud, 1990). Teachers and pupils not necessarily give the same meaning to the same external representation, for that reason visual literacy is imperative in physics. It is defined as the set of skills necessary for the individual to participate actively and critically of the visual language and visual communication, common in a techno-scientific society, establishing links between them and the conceptual, procedural and affective dimensions of physics (Neumann and Segarra, 2012). To pay attention to the proper use of representations becomes important for both, scientific literacy and concept construction, and need to be focused during educational process. This is a basic hypothesis in this work.

Activities involving the use of visual MER were implemented, such as those applied to the reading and “writing” representations of magnetic field lines and equipotential lines in discrete electrostatic distribution. In the latter case an analogy between electrostatic field and gravitational field was proposed, willing that the isoclines lines representations serve as a bridge between the more concrete experience of the students and the relatively more abstract concept of electric equipotential lines.

## **2. Method**

The work presented is an explanatory descriptive study based on the use of instruments for data collection. The study was conducted in a public high school in Mexico City, during three semesters, in introductory physics groups (one per semester) with 27 or 28 students each. Every group included male and female students from 15 to 18 years, with the mode in 16 years. In the second and third semesters the work was done with the same group of students, covering all topics of introductory physics courses at that level (mechanics, thermodynamics, electromagnetism and modern physics).

In the first stage, activities of pictorial representations and interpretations allusive to the experimental session were proposed to the students; they have to draw, compare images, translate between different levels of iconicity and explain their choices and performances, emphasizing in the "translation" between representations with different degrees of iconicity. At this stage no simulators were used.

In the second stage, in addition to the activities included in the first semester, problems involving pictorial association between animations and motion graphics and variable interpretation in a motion simulator were also incorporated. Roughly speaking it was sought reading and interpretation in higher levels of abstraction. Pictorial representations were also used to determine previous ideas. It included the use of simulators, but these were not part of the explicit evaluation. The first and second stages of the research were eminently exploratory and the results were published in a previous paper (Neumann and Segarra, 2012)

In the third stage two aspects were analyzed: a) the use of simulators in a systematic way as a tool to support teaching, particularly those of PhET, and b) development of criteria for evaluating the students' external visual representations (drawings) of physical concepts. The use of MER done in this work, particularly the use of simulators, consisted in presenting the simulations in a demonstrative way (analogous to the experiments done in the course) and asking for the solution of a homework activity in order that each student practices with the simulator.

The use of simulators had also two purposes: to give students a tool that would contribute during their conceptual construction and to investigate the difficulties emerging from such use. Although some research results suggest that there is no advantage in conceptual learning with the use of simulators (Otero, 2002), our interest is based in Vergnaud approximation, which includes representations as part of the concept. In this sense, different representations could show different degrees in which a concept has been acquired.

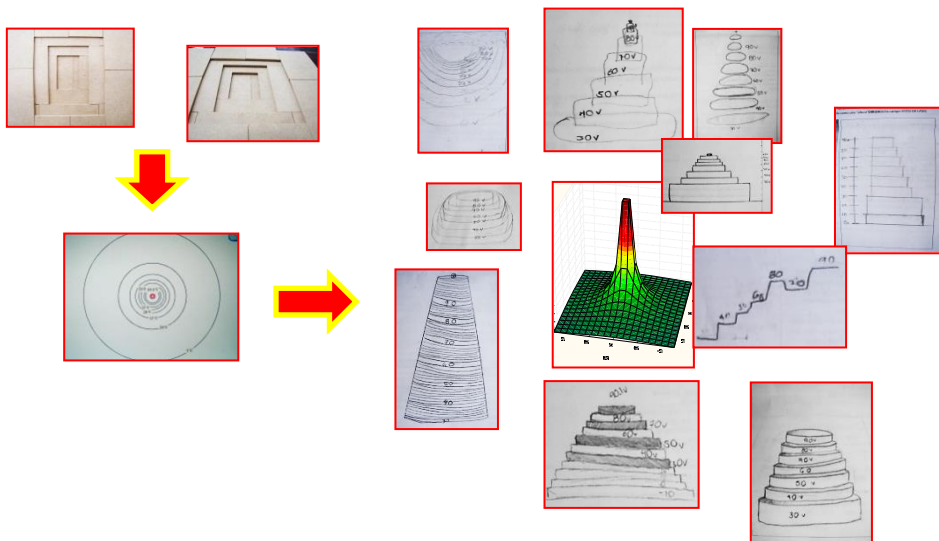
A set of activities were created and implemented to investigate the difficulties associated with cognitive tasks involved in learning with external representations within topics of electromagnetism (electric charge, electric field, electrostatic potential, current, magnetic field and electromagnetic induction). The activities included three of the four aspects mentioned by Ainsworth (2006) about the understanding of the students using MERs: how learners understand the form of representation, how do they understand the relation between the representation and the domain and finally in what way do learners construct an appropriate representation.

Evaluation criteria were established in each case. Particularly the construction of pictorial representations criteria can be summarized by the following three aspects:

- Consider scientific representations as reference.
- To survey the syntactic and semantic elements present in scientific representations and establish with them the assessment criteria for representations made by the students.
- Consider each independently elements to perform a qualification "cumulative", so that the approximations are qualified (seen as a process).

This article reports the results obtained in three activities. One associated to the representation of the electrostatic field, other concerning the representation of the magnetic field produced by an electromagnet and a third relating to students' beliefs about the importance of using different representations for learning physics. In the case of the electrostatic potential with the teaching sequence proposed was expected that the students grasp a deeper interpretation of two-dimensional graphs of equipotential lines. Simultaneously it was sought to determine some of the difficulties encountered to achieve this objective, particularly in relation to the development of the ability to translate bidimensional information (lines in the plane + numerical values representative of the potential) to a three-dimensional space (two dimensions + 1dimensión spatial scalar field).

The sequence involved creating an analogy between the lines representing isoclines in the gravitational field and equipotential lines in the electrostatic field. It was first necessary to build the concept of isocline line; students worked with three-dimensional models and then drew pictures of them in perspective. The reverse process was also used, that is, from the perspective drawings with numerical elements the students had to develop three-dimensional models. Later the students were exposed to representations of the equipotential lines of the electrostatic field due to 1 or 2 charges of the same sign or opposite sign and asked to complete a pictorial representation of the corresponding electrostatic field seen from a three dimensional perspective. The representations of the students were classified with syntactic criteria made by comparing with scientifically accepted representation ("reference" for the assessment).



**Figure 2: Schematic representation of the sequence used for activity 2. We sought to build an analogy between isoclines and equipotential lines of the electrostatic field and then use it for reading and writing representations of electrical potential.**

The second activity was worked with two groups. In the first group students were asked (for homework) to use one of the Phet simulations concerning magnetic field lines due to a magnet and draw the appropriate field. The activity required that the students familiarize themselves autonomously with the simulator of physical phenomena (PhET). With the second group the work was also proposed for home, but during the next class we selected some of the representations so that students, as a group, will identify with teacher's

guidance similarities and differences between them. Afterwards, in both groups, students were asked to draw the magnetic field on a printed screen of the simulator.

For assessment of the pictorial representations made by students, criteria consisting in classifying them from the separation of syntactic elements present in the scientific representations of the same concept, were applied.

The third activity was to evaluate students' perceptions of the usefulness of MER for learning. It was assessed with a questionnaire at the beginning and end of the course.

### 3. Data and findings

First Activity: Translation between two different bidimensional representations of electrostatic potential. We obtained 25 pictorial representations made by the students. These were evaluated by analyzing seven denotative elements present in the image were compared with the corresponding elements in a scientifically accepted representation. Elements considered as follows (Figure 2):

- A) The representation show vertical axial symmetry.
- B) The values of potential in the initial representation remain presents in the translated representation.
- C) The representation is pyramidal.
- D) The radio decreases as the high increases.
- E) Equal increases of voltage corresponding to equal increases in high.
- F) The slope increases as the radio decreases.

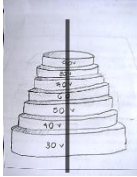
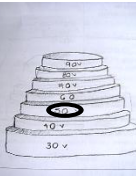
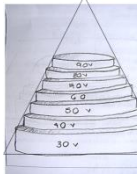

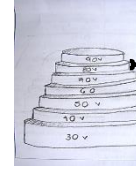
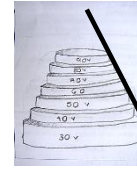
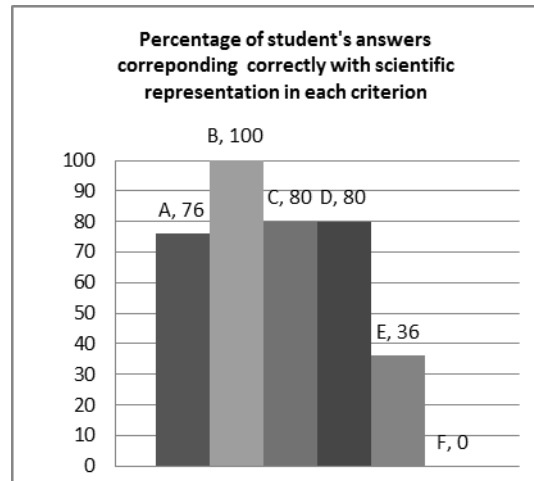
A) The representation show vertical axial symmetry.	B) The values of potential in the initial representation remain presents in the translated representation.	C) The representation is pyramidal.
		
D) The radio decreases as the high increases.	E) Equal increases of voltage corresponding to equal increases in high.	F) The absolute value of slope increases as the radio decreases
		

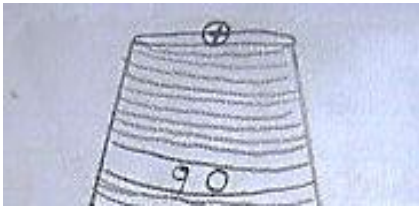
Figure 2: Illustration of the criteria used in the evaluation of student's drawings

Data: 76% of student's drawings show vertical axial symmetry. 100% show all the numerical values presents in the initial representation. 80% of cases show pyramidal shape. In 80% of cases the radio decreases as the high increases. 36% of students do equal increases of voltage corresponding to equal increases in high. No one of the cases show the slope increasing as the distance to the charge decreases.



**Figure 3: Percentage of student's answers corresponding correctly with the accepted scientific representation in each criteria.**

As a separate category was raised the presence of a representative element of the electric charge in the upper part of the figure representing the electric potential detected in 32% of cases (8/25), as shown in Fig. 4



**Figure 4: Electric charge representative element present in 32% of cases.**

Second activity: Representation of the magnetic field using a coil. As in the first activity criteria were established for the evaluation of the representations made by the students, based on the comparison of the elements present between them and the elements contained in a presentation scientifically accepted. The criteria used were as follows:

- 1.1 Drawing show lines or something representative of electromagnetic field.
- 1.2a Field lines are continue lines.
- 1.2b Field lines show a close path.
- 1.3a Symmetry 1: Field lines are presents in both sides of the solenoid.
- 1.3b Symmetry 2: Field lines are present in equal number in both sides of the solenoid.
- 1.3c Symmetry 3: Field lines have the same size in both sides of the solenoid.
- 1.4 Two or more lines are present and don't intersecting one to each other.
- 1.5 Shape of individual field lines is qualitatively correct.
- 1.6 Magnetic field lines seem to go out from the inner of the solenoid.
- 1.7 Applies the selection of north and south poles of the electromagnet in the direction of the field created by the current of the battery

1.8 It is associated with direction field lines

1.9 The direction of the field lines going from North Pole to South Pole whether they are explicit or possibly corresponding to the current that generates according to the right-hand rule.

Since we worked with two different groups, the activity has at least two aspects to contemplate, first the results for each group separately and on the other to compare these results.

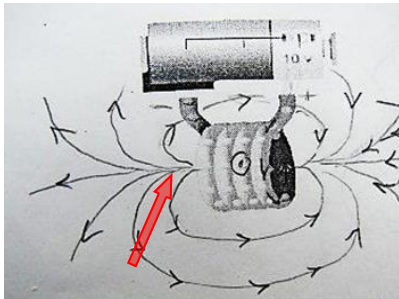


Figure 5: Example of representation of magnetic field showing lack on 1.4 criterion; the magnetic field lines are intersecting one to each other.

The graph below summarizes the results obtained in each of the groups (Fig. 6):

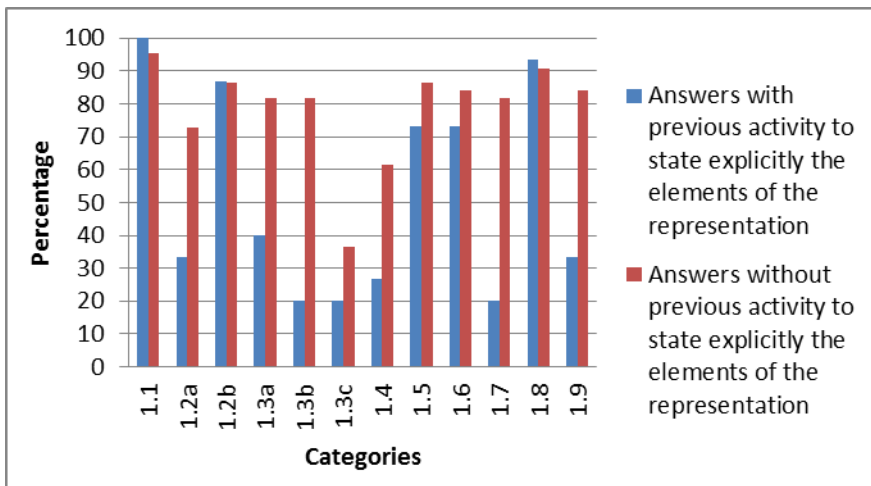


Figure 6: Comparison between magnetic field representations with and without previous activity to state explicitly the elements in the representation.

As a complementary activity students were asked to explain in written form the pictorial representation of the field produced by the electromagnet. 54% (12/22) of the students showed confusion between magnetic poles and electric charges (or voltages in a battery). This confusion can be detected both through drawings and through the text. Examples of this type of confusion are the following statements:

- The attraction and the current direction is always north-south "
- "When the current circulates through the coil generates a magnetic and electromagnetic field which causes current to leave the North Pole and South Pole arrives, going from + to -"
- "Because the magnet has the south pole on the negative side of the battery will cause charges repel each other because like charges repel, so no power."

- "What happens is that forms an electromagnet from south to north as the battery on the right has a positive value."

Third activity: Two questionnaires were proposed. The first was designed to classify the degree of utility perception that students associated with different types of representations to support learning in physics with closed answers. This questionnaire required the categorization into five levels (Not Useful = 1; Useful = 5) and was applied at the beginning and end of the course. The data obtained are shown in the following graphs (Fig. 7 and 8).

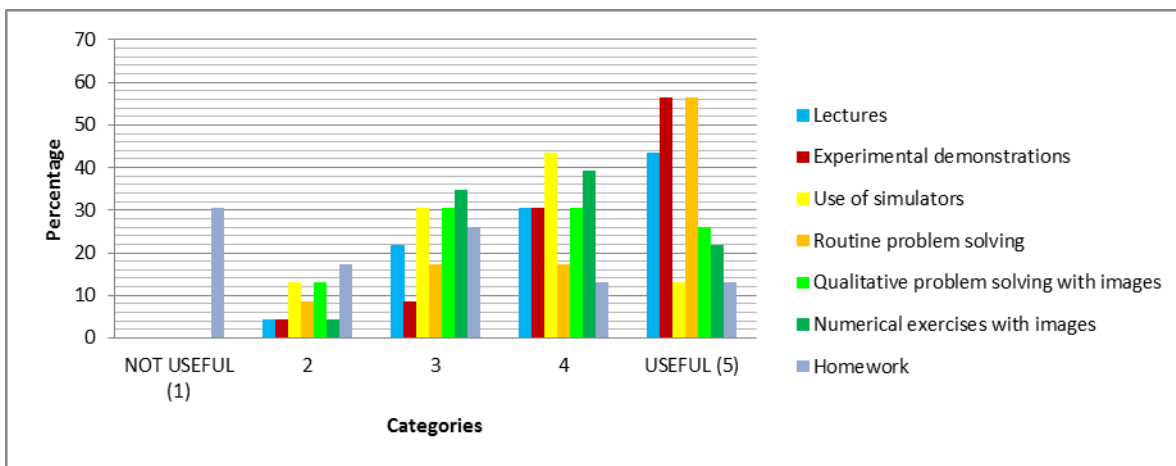


Figure 7: Perceived usefulness of different types of activities at the start of the course.

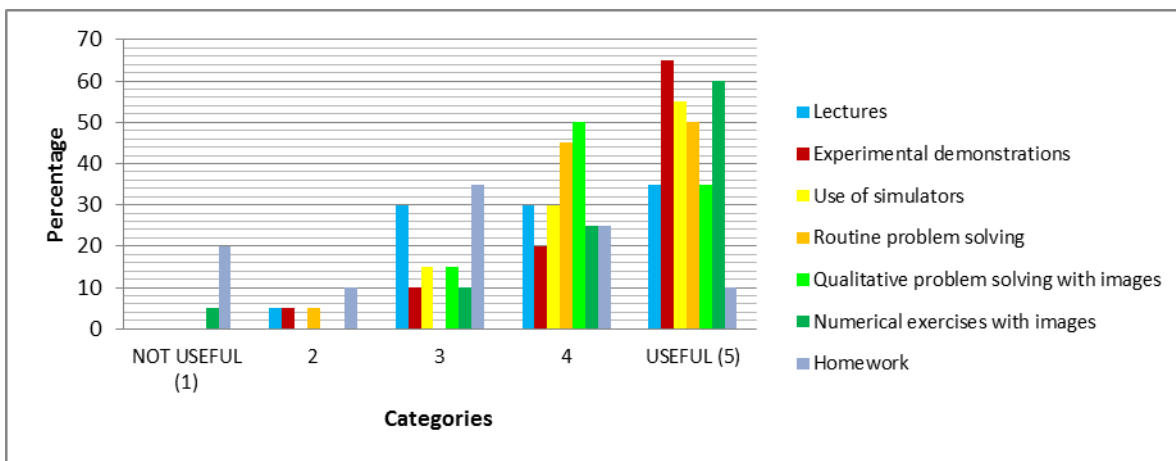


Figure 8: Perceived usefulness of different types of activities at the end of the course.

The second questionnaire, proposed at the end of the course, asked to evaluate the use of images and simulators for the course through four open-response questions.

Among the positive answers: 75% (18/24) of the students stated that the use of images and simulators help them to understand in general terms, 54% (13/24) indicated that helps them to understand the class or theoretical concepts while 50 % said that helps them to understand the world, reality or physical phenomena, 25% (6/24) stated that enables them to view, observe or see, without explicitly mentioning that help or



facilitate the work. Regarding the negative answers: 75% (18/24) said that simulators are difficult to understand (difficult, confusing or complex), 16% (4/25) mentioned that they are tedious or boring. As proposals for improving the use of such representations: 58% (14/24) referred to their desire that the teacher explains the simulations (prior to the activities performed), 33% (8/24) request lower participation of some of its peers because "confused them". It is noteworthy that 30% (7/24) did not answer or said they did not change anything.

#### 4. Discussion and conclusions

Three major groups of interrelated difficulties seem to emerge when trying to use multiple representations in a traditional course: those related with epistemological beliefs of students and teachers, those associated with the creation and implementation of activities which exploit the potential of the multiple representations for conceptual development and scientific literacy and finally the development of appropriate assessment involved in establishing the use of such representations.

##### A) Difficulties associated with epistemological beliefs and the use of MER.

First of all it can be seen that in a traditional course epistemological beliefs of students and teachers make that representations considered most useful are those that have been considered traditionally important. The results of the survey conducted at the beginning of the semester (fig. 7) show that students considered most useful for learning physics solving numerical problem, experimental demonstrations and lectures. This fact is emphasized by grouping the data into two categories: activities to which students have been exposed for several years in a traditional context and the use of uncommon activities for them in class (use of simulators and image literacy), as shown in the following graphs (Fig. 9).

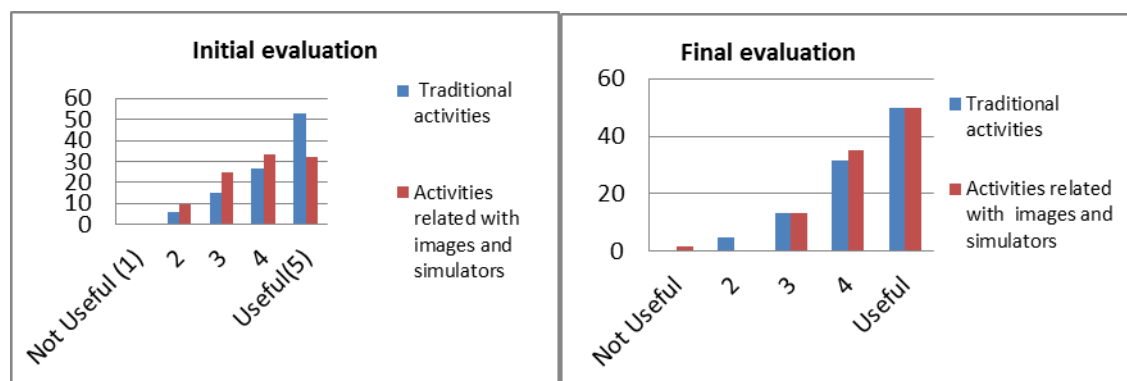


Figure 9: Perceived usefulness of different types of activities at the beginning and end of the course

In the initial evaluation the types of activities considered most useful by the students agree with those included in traditional assessments. While comparing both distributions there are changes in the answers, it may be noticed an increase in the perception of the usefulness of simulators and images, we think that this does not mean that students have profoundly changed their beliefs. Instead, it seems more likely to interpret survey results as an adaptation to the new proposal.

This would mean that students have maintained the prevalent idea in traditional contexts, what is "useful" is what serves to meet the assessment criteria, rather than a reflection on the learning process. The suspicion of an interpretation of the results in this sense is based on some of the answers given in the open responses survey as the superficiality with which the representations have been used.

In the first case, although a high percentage of students suggests that the use of images and simulations during the course "helps them to understand", only 40% (11/27) carried out the homework including the simulator. 58% (14/24) spoke of their wish that the teacher explains the simulations and 33% asked their peers not to

participate, which corresponds to the traditional view that it is the teacher who must "give" the "right" answer. The rooted idea in teachers and students, that the concepts are transmitted via retention seems to persist also in relation to the use given to other types of non-traditional representations. Students undertook an explicit activity of the visual elements present in the simulator and obtained a better approximation to the accepted scientific representation, but they were not able to explain the physical reasons associated with the assessment criteria. For example, although the magnetic field representations were significantly better in symmetry aspects and not intersecting field lines (categories 1.3a, 1.3b, 1.3cy 1.4), students were unable to explain the reason why the lines should be symmetrical and why should not intersect; 54% of students had misunderstanding between magnetic fields, voltage and electric charges. Added to this is the fact that none of the students during class uttered concern over the physical reason of the restrictions imposed on the representation. It seems that we are going from memorizing algebraic algorithms to memorizing a visual representation, accepted uncritically and without profound meaning.

### **B) Difficulties associated with the creation and implementation of activities to exploit the potential of the MER.**

The reflection on this point arises not only from the answers given by the students to the activities to which they were exposed, but the reflection on the process of creation of such activities. Bringing new representations to traditional contexts hoping to connect the potential of the MER implies a change in the activities carried out and the time devoted to them, involves raising new goals, develop new skills and procedures of evaluating and changing the values in both learners and teachers.

In a traditional context there are no activities to work these issues through the use of multiple representations, which mean they must be developed by the teachers themselves. The activities and the objectives to accomplish seem not to be clear in advance, but must be constructed through a process of evolution. Therefore the activity proposed for the development of reading and writing of the equipotential lines and the criteria used for the analysis of the answers given by the students in each activity are only a first approximation. The context itself made the activities and criteria to be closer to the description of the elements present in the representations than to the development and analysis of the issues raised by Ainsworth (2008).

Proposed activities sought to establish interconnection to specific situations, but it seems that students were unable to overcome the descriptive level. For example, the case of the equipotential lines included experiments, simulations and work with models for the development of the concept of isoclines lines, which in turn is supposed a basic pictorial representation and interpretation of the gravitational potential. Once the students had achieved abstraction in the case of isoclines raised the analogy with the equipotential of the electrostatic field, with the idea of transferring that knowledge to the representation of the electric field (via extension), however 32% of potential representations explicitly included a representation of the electric charge in the area corresponding to the highest potential, suggesting that at least these students remained in the most concrete level, similar to what happens with students who interpret a negative slope in a position versus time graph like a "down" space.

Nevertheless the results shown in the figure 1, arises the question whether the fact that you can make a representation closer to the scientific reference, even with a superficial understanding of it, should be considered or not a better approach to the concept. It seems that, considering the physical concepts as more general (perhaps closer to the proposal of Di Sessa or Vergnaud), where representations and associated situations are part of the concept itself, we should accept that there is indeed further alignment to scientific concept when improving the representation, although it is only a small step toward the desired conceptualization.

### **C) Difficulties associated with evaluation**

In traditional courses there are representations that are more appreciated than others, because they are considered closer to what students should learn. Some external representations, like images, are considered

self-evident and of relative low value. Thus, in many cases, the algebraic representations (such as equations) are preferred to drawings. Consequently the evaluation focuses more on algorithmic use of equations. When drawings become present there is often no explicit evaluation criteria (if evaluated at all), or the criteria used is "all or nothing" there are not midpoints. Even seeing that it is desirable that the representations of students approximate to scientific representations, from a constructivist position it should be considered different levels of approximation to the answer and assessment should contemplate these levels from what the student does, not from what the student cannot do. In this sense the proposal of Vergnaud seems relevant to establish graded evaluation criteria.

In the case of the activity with equipotential lines, students should translate the information present in a two dimensional graphical representation to a flat representation in perspective of a three-dimensional space of the electrostatic field. This activity can also be understood from different levels, covering the superficial and the deeper visual aspects, such as whether or not to explain the limits of the analogy. The evaluation of both aspects is necessary to establish the level of conceptual development; it is just a small part of the triplet proposed by Vergnaud.

#### **D) Conclusions**

By raising the use of MER in a traditional context we find a number of difficulties, including both students and the teacher. The main difficulties encountered are set in three different ways:

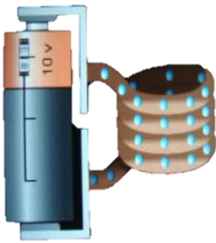
- Epistemological beliefs of students and teachers, through the deeply rooted traditional school setting appear to be difficult to overcome. These include the role to be played by teachers and students, assessment schemes for different types of activities, and how they are used in different types of representations that are used during the course.
- To take advantage of the MER efficiently and deeply, we need to develop the skills that are associated with them. Because students have little visual literacy in physics, the first steps seem to be quite slow, and requires careful advance. It would be desirable to detect all the time what students cannot do with each kind of representation, however this requires both specific activities as the time needed to produce, implement and evaluate them. Likewise, we should ask about the relevance of refocusing the course objectives towards skills development (such as those associated with the literacy skills of the image), even at the expense of the skills traditionally associated with learning physics (skills for solving exercises and quantitative problems, whether they are associated with management skills or to numerical measurement techniques)
- The evaluation of pictorial representations made by students requires hard work from the teacher, which includes selecting the elements to evaluate, creating categories and evaluation criteria and the application of them in each of the individual tests. This requires time and skills beyond those of many teachers immersed in the traditional context.

**ANEXO IV: Ejemplo de situaciones relacionadas con el uso de simuladores o de imágenes provenientes de ellos y respuestas dadas por los alumnos respecto a la importancia de su uso para el aprendizaje de la física.**

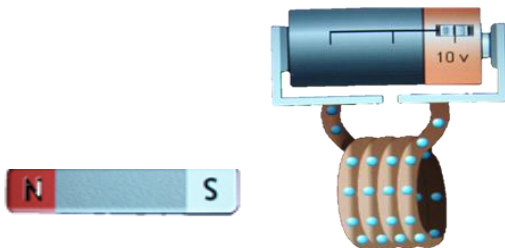
***EJEMPLO DE SITUACIONES ASOCIADAS CON ELECTROMAGNETISMO***

Lee con atención cada una de las siguientes preguntas y realiza lo que se pide en cada caso.

1.- Haz un dibujo de las líneas de campo magnético, debido a la corriente que circula por el alambre en forma de espira, cuidando los elementos conceptuales relacionados con las líneas de campo.



2.- Considerando que un electroimán forma un imán, y sabiendo que el lado derecho de la pila tiene un valor de voltaje positivo respecto al lado izquierdo, como se muestra en la figura, realiza lo que se pide en los siguientes incisos:



- A) Dibuja la dirección de la corriente en la espira.
- B) Indica el polo norte y el polo sur del imán generado por la corriente en la espira.
- C) Explica qué fuerzas magnéticas se involucran en el experimento cuando la corriente eléctrica circula por la espira.

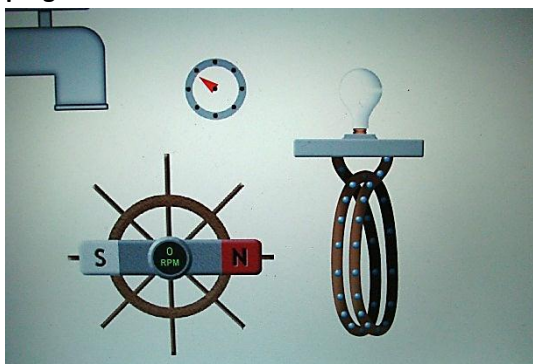
EXPLICACIÓN:

---

---

---

3.- El siguiente dispositivo consiste en una llave de agua (esquina superior izquierda), un eje giratorio al que se sujeta un imán y una espira conductora conectada a un foco. Contesta cada una de las siguientes preguntas relacionadas con el funcionamiento del dispositivo.



A. Considera que en este momento se abre la llave de agua y el imán gira  $90^\circ$ , dibuja y compara el flujo a través de la espira en la posición inicial con el flujo a través de la espira en la posición final del imán.

Dibujo del flujo en la posición actual	Dibujo del flujo cuando gire $90^\circ$ el imán (posición final)

Comparación:

---

---

---

B. Utiliza la Ley de Lenz-Faraday para explicar qué ocurrirá debido al cambio de flujo a través de la espira (incluyendo el sentido de la corriente inducida por dicho cambio).

C. Explica por qué si se abre más la llave de agua el foco también brillará más.

---

---

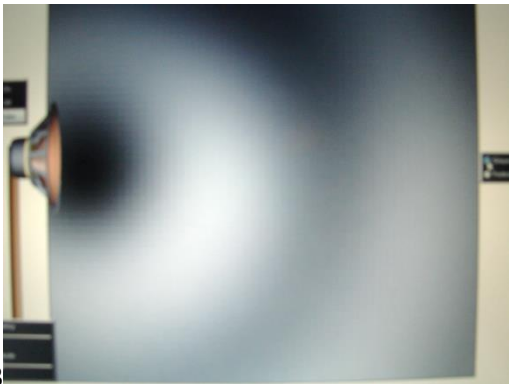
---

4.- Según el Principio de la Relatividad de Einstein no existe un tiempo absoluto, sino que éste depende de la velocidad con la que se desplace un observador respecto a otro. Considera que se pudiera crear una nave que se desplaza con una rapidez de  $0.9c$  (cero punto nueve veces  $c$ ) y que un muchacho de 16 años aborda dicha nave el año terrestre 2099. El viaje dura 1 año según lo mide el viajero, tiempo después del cual regresa a la Tierra. ¿Qué año será en la Tierra cuando dicho viajero regrese?.

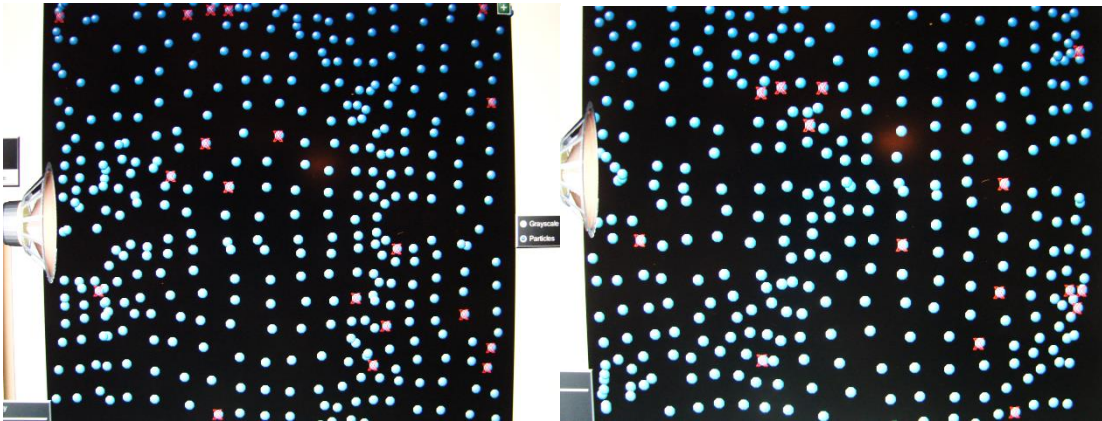
**EJEMPLO DE SITUACIONES ASOCIADAS CON MOVIMIENTO ONDULATORIO.**

Los siguientes ejercicios y problemas involucran tanto aspectos cualitativos como aspectos cuantitativos del movimiento ondulatorio. La información en cada caso se encuentra en las imágenes y en el texto, por lo que debe utilizar diferentes habilidades y conocimientos para contestar lo que se pide. Lee con atención y observa las imágenes de manera analítica antes de contestar.

1- Las siguientes imágenes fueron tomadas de una simulación hecha con el simulador de “Interferencia de Ondas” del programa Phet, de la Universidad de Colorado. La imagen en superior representa una onda sonora. Selecciona cuál de las dos imágenes que le siguen corresponde mejor con la representación de partículas de esa onda en el mismo instante. JUSTIFICA TU RESPUESTA.



3



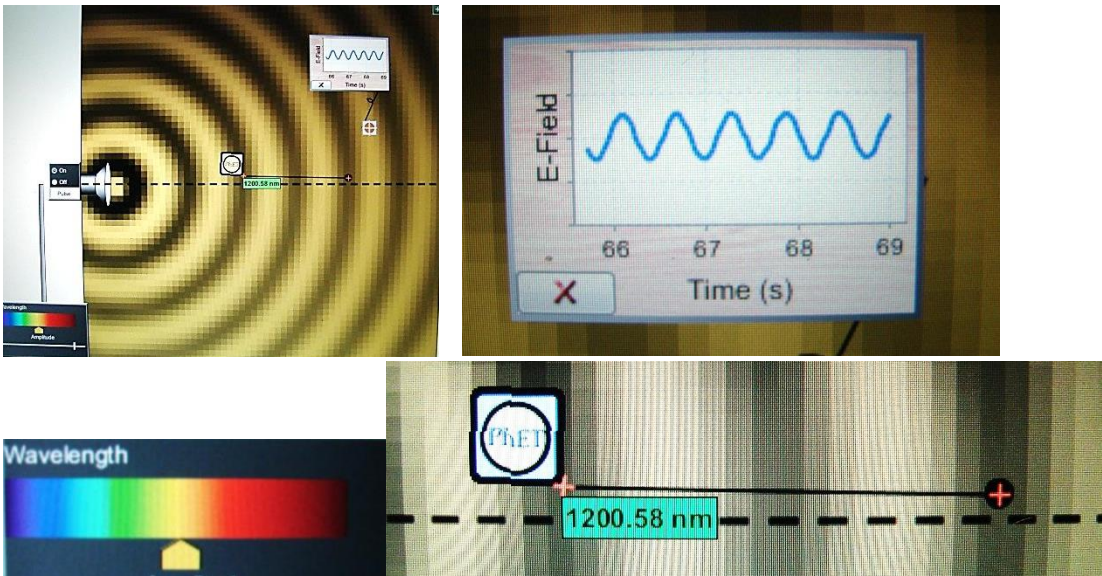
JUSTIFICACIÓN:

---



---

2A.- Las siguientes imágenes fueron tomadas del mismo simulador de la Universidad de Colorado. Sabiendo que la simulación en ese caso correspondía a una luz con tono amarillo y utilizando los datos que aparecen en ellas contesta las siguientes preguntas:



Preguntas con respuesta directa.

- A) onda de ese tono de luz?
- B) aproximada de esa luz?

¿Cuál es la longitud de

¿Cuál es la frecuencia

C) ¿Cuál es la variable del medio que se estudia (y varía a lo largo del tiempo?)

Preguntas con respuesta elaborada aplicando relaciones matemáticas (fórmulas):

D) ¿Cuántas longitudes de onda de ese tipo de luz caben en 1 metro?

E) ¿A qué velocidad se movía esa onda luminosa?

F) ¿Cuánto tiempo tardará esa onda en recorrer 1 metro?

2B.- Sabiendo que la longitud de onda de la luz roja es mayor que la de la luz amarilla responde las siguientes preguntas y explica tus respuestas (piensa antes de contestar):

i) ¿Cómo es la frecuencia de la luz roja comparada con la de la luz amarilla?

Mayor Igual Menor No puede saberse con los datos dados

Justificación: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

ii) ¿Cómo es la velocidad de propagación de la luz roja comparada con la de la luz amarilla?

Mayor Igual Menor No puede saberse con los datos dados

Justificación: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

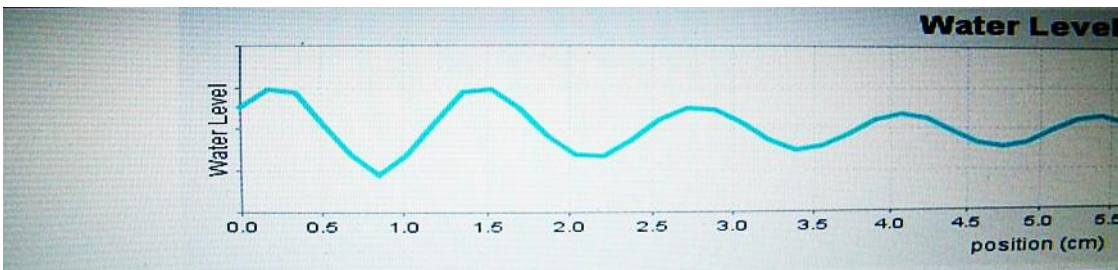
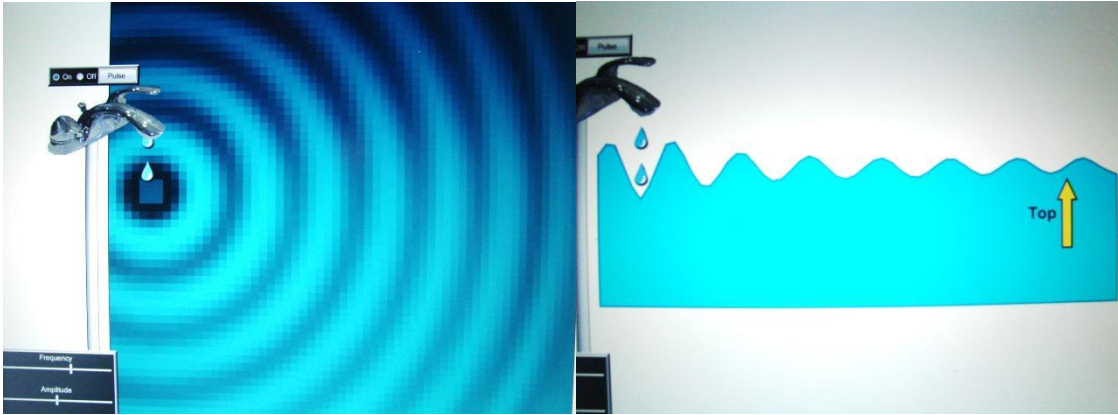
iii) ¿Cómo es la amplitud de onda de la luz roja comparada con la de la luz amarilla?

Mayor Igual Menor No puede saberse con los datos dados

Justificación: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3.- A continuación se muestran tres representaciones distintas de una misma onda en el agua.





A) En tu opinión ¿cuál de las tres es más completa y por qué?

---

B) Suponiendo que la máxima elevación del agua es de 1 cm desde su estado de equilibrio ¿Aproximadamente cuál es la amplitud de onda a una distancia de 2 cm de la perturbación?

---

C) ¿Despreciando la fricción cuál es la razón por la que la amplitud de onda disminuye al alejarse de la fuente de la perturbación?

---

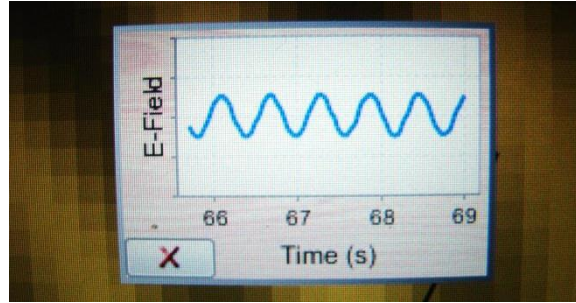


---

4.- Las siguientes gráficas (Obtenidas a partir de un simulador del programa Phet) corresponden a dos detectores colocados en dos ondas diferentes que viajan en medios también distintos. “E-Field” significa “Campo eléctrico” y “Pressure” significa “Presión”. Analízalas y contesta lo que se pide, justificando tu respuesta en cada caso.



ONDA A



ONDA B

A.- ¿Cuál de las dos corresponde a una onda de sonido? \_\_\_\_\_

Justificación: \_\_\_\_\_

B.- ¿Cuál de las dos tiene una frecuencia mayor? \_\_\_\_\_

Justificación: \_\_\_\_\_

C.- ¿Cuál de las dos se mueve con mayor rapidez? \_\_\_\_\_

Justificación: \_\_\_\_\_

D.- Sabiendo que el ser humano puede escuchar sonidos entre 20 Hz-20000Hz, correspondiendo los tonos graves a frecuencias bajas y los agudos a frecuencias altas ¿Sería audible el sonido correspondiente a la gráfica? ¿En caso afirmativo corresponde a un sonido agudo o grave?

R1: \_\_\_\_\_ R2: \_\_\_\_\_

Justificación: \_\_\_\_\_

E- Sabiendo que la luz tiene una rapidez de 300,000 km/s ¿Cuál es la longitud de onda de la luz correspondiente a la gráfica mostrada?

R: \_\_\_\_\_

Cálculos:

## RESPUESTAS AL CUESTIONARIO SOBRE EL USO DE SIMULADORES E IMÁGENES EN EL CURSO DE FÍSICA

LO QUE <b>ME GUSTA</b> DEL USO DE SIMULADORES E IMÁGENES EN EL CURSO DE FÍSICA.	LO QUE <b>NO ME GUSTA</b> DEL USO DE SIMULADORES E IMÁGENES EN EL CURSO DE FÍSICA.
Es que si prestamos atención a éstos, podríamos contestar el examen, ya que era de esperarse que si veíamos algún simulador, éste vendría en el examen.	Lo malo era que había ocasiones en que eran un poco difíciles y si no le entendías, lo tendrías mal en el examen.
Lo que me gusta del uso de simuladores es que vemos la teoría de forma práctica y real sin hacer los experimentos físicos.	Son un poco difíciles y complejos para ser utilizados.
Que pueden representarse los problemas o actividades o temas de física en los simuladores y está padre utilizarlos aunque estaría mejor si sólo fuera de apoyo y no como de temas del examen.	La verdad es que me agradan y pues puedes entender gráficamente lo que pasa en aspectos o temas de física, aunque lo que no me gusta es que venían los simuladores en el examen.
Te explicaran mejor cómo aplicar la física a tu vida.	Las gráficas no están muy bien hechas a comparación de la realidad.
En ocasiones ayuda a entender un poco mejor pero en lo personal se me hacen más sencillas las clases cuando es teoría-experimento.	Muchas veces no entiendo cómo utilizarlos.
Me ayuda a relacionar lo visto en clase con los problemas que se acercan a la realidad.	A veces son un poco aburridas.
Que puedo entender mejor lo que pasa en la vida diaria y aprender mejor de los experimentos y clases teóricas.	A veces me confundo con tantas imágenes y simuladores.
Me gusta que podemos interactuar con las simulaciones y entenderle mejor a algunos aspectos físicos.	No me gusta que en algunos casos te revuelven algunas cosas en cuanto a las simulaciones.
Te muestran gráficamente lo visto anteriormente en clase.	Algunas veces suelen ser un poco tediosos por el tiempo en descargar el programa, a veces no lo abre en algunos equipos, etc.
Que te dan una perspectiva mejor: * Son interesantes. * Te ayudan a entender los procesos.	A veces se me dificulta ya que es complejo e incluso algunas veces no entiendo el tipo de carga que representan.
Me gustó mucho ya que en lo personal me hacía comprender mejor y ayudaba al razonamiento del problema en cuestión.	No me gustó en parte porque en clase le comprendía bien, pero cuando lo trataba de hacer en casa no me resultaba igual a la clase.
Me gusta que nos ayuda a ver con más detenimiento algunos de los temas ya que se pueden realizar como si ocurrieran en realidad pero de una manera más fácil.	El único problema creo es que a un principio es difícil entender cómo manejarlo pero luego es muy fácil.
Me gustaría utilizar los simuladores ya que te ayudan a entender mejor lo explicado en clase, o de los experimentos.	En algunas ocasiones no sé cómo manejar éstas variables del simulador.
Que ejemplifica las o los problemas a los que nos debemos enfrentar durante el curso.	Que no entiendo a veces ya que no se nos explica antes de usarlos cada botón para qué sirve.
Que de esa manera es más fácil de entender.	Que a veces me aburren y me dan flojera.
Puedes entender más lo que nos enseñan en clase y ya no nos equivocamos tanto.	Pues en general no hay algo que no me guste del uso de los simuladores.
Es que gracias a ellos puedo entender mejor las cosas y verlo desde un punto de vista diferente.	Pues no hay nada que no me gusta, al contrario me parece una buena forma de aprender, en el caso de

	simuladores.
A veces pueden ayudar a comprender la teoría.	Suelen confundirme con respecto a lo visto en clase.
Nos da una mejor idea sobre un tema.	Todo me gusta
Es que con ellos le entiendo mejor a los temas vistos en clase.	Todo me gusta.

LO QUE <b>ME GUSTA</b> DEL USO DE SIMULADORES E IMÁGENES EN EL CURSO DE FÍSICA.	LO QUE <b>NO ME GUSTA</b> DEL USO DE SIMULADORES E IMÁGENES EN EL CURSO DE FÍSICA.
- Demuestra virtualmente la teoría.	- A veces es un poco confuso.
- Te ayudan a entender y a visualizar mejor el concepto.	- Que a lenta mi computadora y que a veces no se pueden jugar.
- Lo que me gusta es que con los simuladores nos explican de forma más completa lo que vimos en clase.	-No me gusta que en ocasiones los simuladores no los podemos utilizar en casa por problemas en la conexión del simulador en Internet.
- Es que es una buena forma de ejemplificar.	- Me confunde.
- Que me ayudan a entender mejor el tema y se me facilita más.	- A veces son algo difíciles de entender o tiene mal la información.
- Que es útil para observar los fenómenos que ocurren en la vida cotidiana y para tratar de entenderlos.	- Que ponen varias tablas y provocan que me revuelva con algunos datos, ya que no sé, en algunos casos, de dónde tomar ciertos datos.
- Tener una idea de los fenómenos que se presentan y son como una representación de la parte teórica.	- A veces son muy complicadas y los problemas complejos y en vez de darnos una idea nos confundimos más.
- Poder entender fenómenos poco explicables (si se tiene una buena explicación).	- A veces es difícil entender.
- Que me ayudan a entender más la teoría.	- A veces no los puedo contestar y me parecen aburridos.
- Que explican de diferentes formas un fenómeno físico.	- Que a veces son confusos en la manera que presentan los datos y son un poco aburridos.
- Lo que me gusta es que al usar las simulaciones entiendo mejor lo explicado en la clase, ya que es más completo y detallado verlo en una simulación.	-Lo que no me gusta es que a la hora de un examen, las simulaciones se ven un poco borrosas y no se entiende bien lo representado.
- Que el simulador ayuda a entender un poco más lo visto en la clase y le entiendo un poco más.	- Que a veces no entiendo bien de que hablas éstos.
- Es que en ellos podemos aprender de una manera diferente, a partir de que podemos aprender a observar e interpretar las imágenes.	- ---
- Que podemos saber cómo ocurre verdaderamente y no sólo lo imaginamos.	- Que a veces son un poco difíciles de entender y además como está en inglés no lo entiendo muy bien.
- Que nos permite de una forma fácil de experimentar algo real y que me ayuda a entender los temas.	- Lo que no me gusta es que a veces es un poco confuso pero eso se resuelve con la ayuda de los profesores.
- Es que puedo aprender mejor la clase con ejemplos parecidos a los de la vida diaria.	- Muchas veces me cuesta un poco de trabajo entender cómo usar un simulador.
- Se observan los fenómenos físicos mediante simulaciones.	- Algunos simuladores no están bien explicados.
- Son un poco didácticos y se enfoca a la realidad.	- Son difíciles y en ocasiones; son difíciles de comprender.
- Es que nos ayuda a entender mejor los temas en clase ¡Si le entendemos!	- Qué están en inglés y a veces son complicados de usar y si no sabemos el tema no entendemos.
- Que podamos observar más allá de lo común,	- Algunas veces, es un poco tedioso y aburrido.

obtenemos una vista más abstracta.	
- Que permiten una visualización en el mundo real de la teoría.	- Que a veces complican un poco, porque llegan a contradecir lo dicho, sin mencionar que a veces llega a ser tedioso.
- Que los hace más fácil de comprender y divertido.	- Que no vienen muy exactos los resultados.
- Que hace un poco más fácil entender algunas clases.	- Que a pesar de que en ocasiones facilita los ejercicios, en otras son difíciles de entender.
- Que a veces los experimentos hacen que en los simuladores los ubique y entienda más los sucesos que ocurren en la física.	- Es difícil de entenderlos, de abrirlos, descargarlos, etc. Y está en inglés y no sé qué botón es para cuál y esas cosas.

<p>Respecto a la pregunta <b>LO QUE ME GUSTA DEL USO DE SIMULADORES E IMÁGENES EN EL CURSO DE FÍSICA</b>: 75% (18/24) de los alumnos afirmaron que los ayuda a entender; 54% (13/24) de los alumnos mencionaron que los ayuda a comprender la clase o los conceptos teóricos mientras que 50% mencionó que los ayuda a comprender el mundo, la realidad o los fenómenos físicos, 25% (6/24) afirmaron que les permite visualizar, observar o ver, sin mencionar explícitamente que les ayude o facilite el trabajo.</p> <p>Sobre la pregunta <b>LO QUE NO ME GUSTA DEL USO DE SIMULADORES E IMÁGENES EN EL CURSO DE FÍSICA</b>: 75% (18/24) dijeron que son difíciles de entender (difíciles, confusas o complejas), 16% (4/25) mencionaron que eran tediosas o aburridas.</p>
--

<b>LO QUE ME GUSTARÍA QUE SE HICIERA Y QUE CREO QUE PERMITIRÍA MEJORAR EL USO DE SIMULADORES E IMÁGENES DURANTE EL CURSO DE FÍSICA.</b>	<b>LO QUE ME GUSTARÍA QUE NO SE HICIERA Y QUE CREO QUE PERMITIRÍA MEJORAR EL USO DE SIMULADORES E IMÁGENES DURANTE EL CURSO DE FÍSICA.</b>
- Explicara como antes cómo funciona el simulador con algún ejemplo que podría venir en el examen.	- Que primero participen mis compañeros ya que confunden, que participen pero después de la explicación.
- Me gustaría que Emmanuel no me confunda cuando participa y más ejemplos y apoyo de parte de los profesores, porque la verdad me cuesta mucho trabajo entender la física.	- Que se basen tanto en los exámenes para evaluar, que hagamos más prácticas o digo que nos ayude un poco más a la hora de evaluar.
- Me gustaría que los simuladores se apliquen un poco más a fondo.	- Pues por lo general lo que se hace en la clase es bastante adecuado por lo cual no quitamos ninguna parte.
- Es que Manuel no participara tanto, porque lo que dice me confunde.	- Es que primero participara el maestro y luego participen los estudiantes.
- Yo creo que el uso de experimentos más seguido, ya que a mí me gusta más estar haciendo alguna actividad.	- Seguir con mucha teoría en los temas.
- Que la hicieran un poco más específica.	- Que pusieran sólo las tablas necesarias, o los datos necesarios.
- Sólo usar simuladores en la clase y una vez que los sepamos dominar ya trabajarlos en casa.	- No usar tantas simulaciones.
- Mejor explicación.	- Dejar a la deriva, si se entiende o no primero explicar y después dejar ejercicios.
- Que primero experimentemos nosotros y después la	- Primero estar seguros de entenderlo y después

explicación del profesor.	hacer ejercicios.
- Pues reforzar esos conocimientos con más ejemplos y ejercicios que nos faciliten resolver cualquier problema.	- No me gustaría que se nos dejaran tantas hojas para resolver sin que nos haya quedado claro antes de lo que estemos hablando.
- Es mejorar la calidad de la imagen en un examen.	- Nada
- Me gusta la clase como está.	- ---
- Que deberían explicarnos todo acerca de ellas, así como los diferentes tipos.	- ---
- Que se explique muy bien lo que contiene el simulador para así no confundirnos a la hora de acudir a él.	- La verdad a mí sí me gusta lo que se hace así que no tengo nada que decir al respecto sobre esto.
- Quizás sería mientras se usa el simulador también ir viendo algunos conceptos ejemplificándolos con las imágenes.	- Que las dudas se aclararan mientras estamos haciendo porque luego los compañeros preguntan después y quizás si ya se había entendido me llega a confundir.
- Pudieran explicar un poco mejor cómo interpretar los simuladores.	----
- Que los problemas de fórmulas se trataran de explicar con simuladores así como con prácticas.	----
- Que tuvieran una mejor explicación o el idioma en español.	- Que no se incluyeran en todas las actividades.
- Que hubiera una explicación previa.	- Que sólo le pregunten a los mismos o que participen los mismos.
- Explicar, bien, los simuladores, es decir, herramientas, conceptos, etc.	- No incluir tantos conceptos.
- Hacer una dinámica, en la que los simuladores no resulte tedioso.	- Hacer que coincida la teoría con la práctica.
- Que se explicara un poco más avanzado.	- No mezclar tantas variables.
- Más ejercicios, problemas, seguir con experimentos.	- Un poco menos simuladores, creo que la práctica ayuda mejor.
- Que explicaran con ejemplos problemas, ejercicios, etc. Para que a la hora de enfrentar esos problemas numéricos sean en exámenes, prácticas, etc. Fuera más fácil y sepamos resolverlos.	- Que Manuel participe tanto y sin objetivos, que confunda y siempre se adelante en los temas. Que los simuladores los pongan en los exámenes y que sean tan importantes en la clase o evaluación.

En la pregunta LO QUE **ME GUSTARÍA QUE SE HICIERA** Y QUE CREO QUE PERMITIRÍA MEJORAR EL USO DE SIMULADORES E IMÁGENES DURANTE EL CURSO DE FÍSICA: la respuesta más común 58% (14/24) se refirió a su deseo de que el profesor explique las simulaciones (previamente a las actividades que ellos realizan).

Las respuestas a la pregunta LO QUE **ME GUSTARÍA QUE NO SE HICIERA** Y QUE CREO QUE PERMITIRÍA MEJORAR EL USO DE SIMULADORES E IMÁGENES DURANTE EL CURSO DE FÍSICA fueron las más variadas, siendo la más común con un 33% (8/24) de coincidencias la petición de una menor participación de algunos de sus compañeros porque “los confunden”. Cabe mencionar que el 30% (7/24) no contestaron o dijeron que no cambiarían nada.

## **ANEXO V: ACTIVIDAD PARA RELACIONAR LA CAPTURA Y ANÁLISIS DE DATOS DE PRÁCTICAS EXPERIMENTALES CON LA LECTOESCRITURA DE LA IMAGEN USANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS.**

MÁQUINA TÉRMICA Y USO DEL SOFTWARE TRACK 4.05 PARA EL ANÁLISIS DE DATOS.

### **GUÍA PARA EL MAESTRO**

Abstract:

Esta guía tiene la doble intención de, por un lado presentar al profesor un experimento que relaciona varias áreas de la física que puede ser llevado a cabo en el salón de clase y analizado desde diferentes perspectivas y por otro el uso del software Track 4.05 como una vía para el análisis del problema desde la perspectiva de las Representaciones Múltiples. Se presentan, así mismo, algunas sugerencias para la puesta en práctica del experimento y para el uso del programa, así como también algunos aspectos relacionados con las habilidades cognitivas relacionadas durante el análisis de las imágenes involucradas.

### **INTRODUCCIÓN:**

Los términos básicos en cualquier estudio termodinámico incluyen las nociones de Sistema, Entorno, Paredes, variable macroscópicas y microscópicas, y de manera especial intercambios de energía. Históricamente el estudio de la termodinámica adquirió interés a partir de las aplicaciones tecnológicas, en particular a partir de las llamadas máquinas térmicas, que dieron pie a la Revolución Industrial. Conceptos como “Calórico”, “Potencia motriz del fuego” y “Vis Viva” fueron adoptados por los investigadores de la nueva ciencia de las máquinas térmicas, creando teorías explicativas de la realidad asociada a la experiencia de las máquinas que utilizaban calor para producir trabajo. A pesar de su importancia y de lo deseable que sería poder contar con máquinas de este tipo (o al menos con modelos en miniatura) para trabajar con ellas dentro del aula, las condiciones escolares pocas veces lo permiten, y los profesores nos vemos en la necesidad de encontrar sustitutos cuyas características ideales son:

- 1) Que sean hechos con materiales baratos y fáciles de conseguir.
- 2) Que permitan la observación, al menos de manera cualitativa, de fenómenos relacionados con los contenidos programáticos, en particular con los conceptos físicos centrales para cada unidad programática.
- 3) Que no sean peligrosos.
- 4) Que sean fáciles de llevar a cabo y que “funcionen” en la mayoría de los casos.
- 5) Que permitan crear un enlace relativamente “directo” con los aspectos teóricos.

Para conjuntar todas esas características muchas veces se opta por presentar los experimentos más conocidos, que generalmente aparecen en el libro de texto, generalmente repetidos año tras

año ante las diferentes generaciones de estudiantes. Como ejemplos de estos experimentos para el tema de máquinas térmicas pueden considerarse la emulación de la Aeolipila de Herón de Alejandría (García-Colín Scherer, 1986, pág. 12) a partir de latas de aluminio con agua que incluyen dos perforaciones laterales, que se suspenden de un hilo y se ponen a calentar para hasta que el agua hierve y el vapor que escapa las hace girar, o los dispositivos que giran debido a corrientes convectivas ascendentes. Si bien estos experimentos han permitido “ilustrar” los elementos básicos de una máquina térmica, pocas veces se lleva a cabo un análisis más profundo de las variables físicas y de sus relaciones, suponiéndose que la mera observación y descripción es suficiente, sin tomar en cuenta que “Las comunicaciones no son simplemente recibidas, sino recreadas, reconstituidas y transformadas por el receptor” y que “El acto de comprender es siempre transformativo, donde la información es seleccionada, priorizada e interpretada, y donde se toman decisiones y se actúa con base en ella” (Pintó, 2002, pág. 228). La necesidad de llevar a la práctica análisis mucho más cuidadosos de lo que el alumno “observa” emerge como una prioridad si se desea que los alumnos pasen de la observación superficial a la observación profunda, y lleva a la necesidad de establecer prácticas constructivistas, pero no sumergidas en un constructivismo “ingenuo”, donde se presuponga que la mera observación implica la construcción del conocimiento científico, sino a partir de la búsqueda de caminos que permitan transitar desde las aún tradicionales “guías de práctica” (que asemejan “Recetas de cocina”) hacia prácticas que implican mayor autonomía y desarrollo de habilidades científicas. Durante ese tránsito se requiere la suficiente guía que permita dirigir la atención de los alumnos hacia los aspectos relevantes desde el punto de vista científico y donde se supere la muy extendida costumbre de repetir al pie de la letra las instrucciones, de completar tablas o de llegar a un resultado numérico que pocas veces es relacionado con su significado físico y que el estudiante no puede analizar ni incorporar a sus estructuras mentales como un conocimiento integrado.

En el trabajo que aquí se presenta se propone una práctica donde se enfatizan aspectos relacionados con la interpretación de la información visual desde la perspectiva de las Representaciones Múltiples. El uso de las Representaciones Múltiples ha sido descrito por algunos autores como “una poderosa herramienta estrategia para apoyar a los estudiantes a desarrollar un entendimiento profundo” (The College Board, 2008, pág. 1), y se caracteriza por incluir distintos tipos de representaciones (texto, ecuaciones, tablas, gráficas, simulaciones, etc.) durante el proceso de enseñanza aprendizaje. Esta perspectiva es adecuada en el caso de la física, que naturalmente parte de la observación de experimentos cuyo análisis implica transitar por diferentes representaciones, que van desde la observación en el espacio tridimensional en tiempo real, hasta el modelo matemático adecuado, pasando por las representaciones planas altamente icónicas (video-filmación) y por las representaciones planas con mayor nivel de abstracción (gráficas).

Como tema central se considera la construcción de una máquina térmica poco conocida, que funciona con base en un gradiente de temperaturas invertido respecto al campo gravitacional y por tanto inestable. El experimento forma parte de los problemas del Young Physicists Tournament (IYPT, 2004), y originalmente fue pensado para ser realizado por alumnos de último



grado de nivel medio superior de alto desempeño, no obstante, puede adecuarse para el trabajo con un grupo de alumnos de nivel medio de rendimiento “promedio”.

El objetivo de este reporte es proponer una guía de observación y análisis de las variables físicas (mecánicas y termodinámicas) presentes en el experimento mostrado a partir de elementos visuales obtenidos del experimento y del uso del software libre Track 4.05. El fenómeno estudiado tiene la cualidad de poder ser analizado desde diferentes perspectivas que abarcan varias áreas de la física: cinemática, dinámica, termodinámica y mecánica de fluidos. Se encuentran involucrados conceptos como densidad, empuje, presión, fuerza, peso, masa, calor, temperatura, elasticidad, dilatación térmica, cambio de estado, fricción, intercambio de calor, energía potencial gravitacional, energía cinética, energía interna, calor específico, capacidad calorífica, etc. Así como varios Principios y Leyes fundamentales de la física: El Principio de Conservación de la Energía, las Leyes de Newton y las Leyes de Termodinámica. La riqueza de perspectivas desde la que puede ser abordado lo hace potencialmente aplicable dentro de un contexto de investigación dirigida, pero en este caso lo limitaremos a una experiencia demostrativa, aunque se propone una actividad que sirva como guía para la explicitación de conceptos y para la construcción de modelos explicativos del fenómeno en los alumnos.

#### MATERIAL:

El material necesario para el dispositivo experimental es:

1 Vaso de precipitado alto de 2 lts.

1 Vaso de precipitado

1 Tubo de ensayo

1 Guante de cirujano

1 Liga

Contrapesos pequeños (tuercas de metal, abrazaderas, arandelas o algo similar).

Parrilla eléctrica o mechero de bunsen y complementos para calentar el agua.

Alcohol

Agua

Hielo

Dependiendo de los objetivos propuestos para el grupo puede ser necesario el siguiente material:

1 Balanza de precisión

1 Cronómetro

1 Cámara de video o fotográfica con aplicaciones de video de buena calidad.

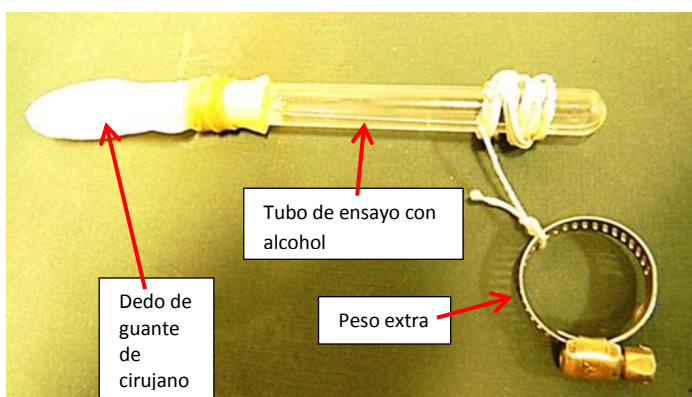
1 Computadora.

En caso de filmación, para el análisis del video se propone el uso del programa Tracker 4.05, disponible de manera gratuita en la WEB.

Nota: Aunque los materiales son relativamente fáciles de conseguir, no es común que se cuente con recipientes suficientemente profundos, en cantidad suficiente, para el trabajo individual o aún por equipos en los laboratorios escolares, por ello la propuesta se dirige hacia una experiencia demostrativa, que en todo caso podría ser llevada a cabo por uno o dos equipos del grupo, si se considera la posibilidad de plantear un trabajo diferenciado o rotativo a lo largo de varias sesiones.

Dispositivo Experimental:

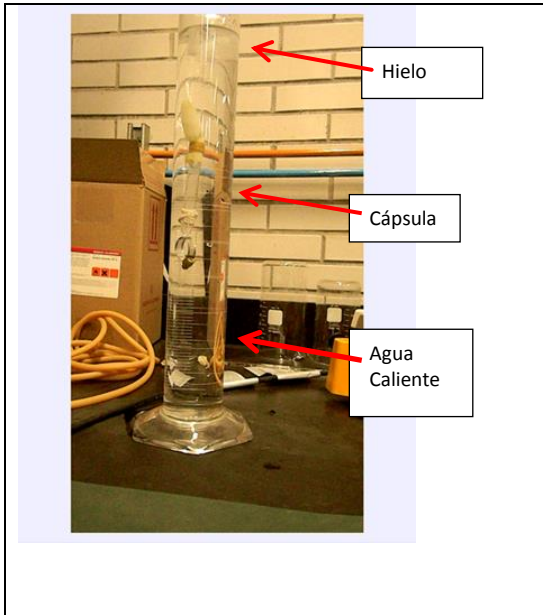
Se prepara el tubo de ensayo agregándole alcohol, y sellándolo con uno de los “dedos” del guante de cirujano sujetado firmemente con la liga para evitar que el alcohol se fugue, como se muestra en la siguiente figura.



**Ilustración 34: Cápsula y sus componentes; tubo de ensayo, cabeza de cápsula hecha con una sección de guante de cirujano, y abrazadera usada como contrapeso.**

Al tubo de ensayo sellado, con alcohol y peso extra sellado le denominaremos de aquí en adelante “Cápsula”. La abrazadera sujeta al tubo de ensayo tiene la función de incrementar el peso para que la cápsula se sumerja en el agua cuando la temperatura de la cápsula es baja. Ese peso debe calibrarse hasta que se consiga el efecto deseado; cuidado que no sea demasiado grande como para impedir el ascenso de la cápsula cuando su temperatura se incrementa.

Para preparar el dispositivo se calienta agua hasta 90°C, en cantidad suficiente como para llenar 2/3 del vaso de precipitado. Se prepara la cápsula agregando alcohol (entre 1/2 y 2/3 del tubo de ensayo) y se coloca un “dedo” del guante de cirujano en la boca del tubo, sujetándolo fuertemente con la liga para evitar que se fugue el alcohol. Este “dedo” funcionará como tapa y como cabeza elástica de la cápsula.



**Ilustración 35: Dispositivo experimental mostrando el vaso de precipitado y la cápsula en su interior.**

#### **USO DE TRACKER 4.05 PARA EL ANÁLISIS DE DATOS**

Un camino que permite aproximar a los alumnos al análisis del experimento, tanto cualitativa como cuantitativamente, es el uso de software. Desde hace algunos años se ha incrementado el uso de Power Point y Excel para realizar presentaciones y análisis de datos. Son menos conocidos otros programas más especializados y que también resultan útiles (incluso, quizás, más pertinentes dentro del contexto de la enseñanza de la física), sobre todo en el análisis de la práctica de laboratorio con características dinámicas. Uno de esos programas es Tracker 4.05, ([www.opensourcephysics.org](http://www.opensourcephysics.org)), con él se pueden hacer análisis de videos previamente realizados, y permite la exploración de patrones de posición de objetos o puntos en movimiento. Los pasos para su aprovechamiento son sencillos, pero se requiere contar con un dispositivo para capturar la imagen y una computadora para correr el programa.

Tracker 4.05 permite e implica el trabajo con representaciones múltiples, desde la preparación del material a analizar (realización del experimento, video-filmación) hasta el reporte final de resultados. El uso del programa implica diferentes habilidades cognitivas que el usuario debe ir desarrollando paulatinamente cuyo grado de desarrollo determinará la potencialidad que en ese momento existe en la relación usuario-software para la solución de problemas. Como contraparte, es de esperarse que emerjan dificultades en la lectura de la imagen en sus diferentes modalidades, por ejemplo han sido señaladas dificultades en la lectura e interpretación en el caso de gráficas de cinemática en tiempo real. Estas dificultades pueden emerger de las ideas previas, de las estrategias de razonamiento y de los modelos mentales relacionados con el sentido común

y sus principales efectos son que los lectores atribuyen un significado distinto a las imágenes que aquel con el que fueron propuestas (Testa, Monroy, & Sassi, 2002, pág. 236).

En las siguientes secciones se presenta el desarrollo y análisis de datos en el caso del experimento de la máquina térmica.

#### EXPERIMENTO DE LA MÁQUINA TÉRMICA.

Dependiendo del área de la física que se desee considerar para explicar el funcionamiento de la Máquina Térmica será necesario establecer prioridades tanto en la video filmación como en el uso del software. Por ejemplo, uno de los aspectos involucrados al realizar la filmación es la perspectiva del observador, que incluye la posición relativa de la cámara, la distancia a la que se coloca del dispositivo experimental, la calidad de la imagen (densidad por centímetro cuadrado), la iluminación, la velocidad de filmación (número de cuadros por segundo), etc. Todos estos elementos influirán en las posibilidades de análisis de la imagen obtenida y quedan (idealmente) delimitados por los objetivos de la investigación. Si lo que se desea es estudiar la evaporación del alcohol y el cambio de volumen ocupado por él, sería conveniente centrar la atención en la cabeza de la cápsula, lo que implica hacer un “Close Up” a la zona mencionada. Pero si lo que interesa es hacer un análisis cinemático es más adecuada una toma abierta, en la que pueda capturarse la cápsula completa y un marco de referencia que permita establecer las características del movimiento.

Existen dos niveles de observación que también son aplicables durante el análisis de datos: el “superficial” y el “profundo” Estos niveles se relacionan respectivamente con el análisis sintáctico y con el análisis semántico de la imagen. Desde la perspectiva de la física conceptual la descripción matemática podría considerarse como el aspecto sintáctico (“superficial”), mientras que el análisis semántico correspondería con las interpretaciones dadas desde la física conceptual.

Por otro lado, como se mencionó con anterioridad, el fenómeno involucra distintas áreas de la física y puede ser analizado desde esas diferentes perspectivas.

#### PERSECTIVA CINEMÁTICA: POSICIONES, TRAYECTORIAS, VELOCIDAD, ACELERACIÓN Y TIPO DE MOVIIENTO:

La cinemática es uno de los temas que comúnmente son abordados en los cursos de física básica, y también uno de los primeros temas considerados en los programas de física de Educación Media. No obstante, su comprensión permanece muchas veces en un nivel superficial, asociándose más con el uso de fórmulas y métodos memorísticos, que con un análisis de patrones, descripciones y argumentos explicativos.

El trabajo con posición y trayectoria es central en mecánica, pero incluye elementos visuales que, aunque pueden parecer obvios desde la perspectiva del especialista, son difíciles de comprender para los novatos. Algunos de los problemas se relacionan con conceptos poco o mal

comprendidos, como el concepto de marco de referencia, en otros casos existe poca diferenciación entre conceptos, como ocurre en la confusión entre distancia y posición o entre desplazamiento y trayectoria. El análisis explícito de esos elementos durante casos concretos puede servir tanto como un mecanismo de evaluación (en sus diferentes fases) como un proceso para la construcción de estructuras más cercanas a la perspectiva científica, pero es necesario crear actividades específicas para ello.

El uso de video filmación permite analizar los fenómenos a una escala de tiempo más lenta que la escala real, pudiendo establecer relaciones difícilmente visibles en tiempo real. Así mismo, puede cambiarse la escala espacial de observación, lo que permite detectar detalles que a en el experimento son poco visibles. Utilizando Tracker pueden elegirse uno o varios puntos de interés y analizarlos aprovechando la transformación de escalas. En el caso particular del experimento de la Máquina Térmica, el marco de referencia quedó prefijado gracias a la graduación del vaso de precipitado, pero es necesario calibrar la escala, lo cual se hace mediante una de las herramientas del menú.



**Ilustración 36: Calibración de la escala (en azul) utilizando el programa Tracker.**

#### OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE LA GRÁFICA DE MOVIMIENTO

Como señala Testa et al (Testa, Monroy, & Sassi, 2002, pág. 236), “Mientras se estudia cómo los estudiantes leen e interpretan documentos que contienen imágenes de gráficas en tiempo real, es útil mantener en mente las distintas formas en que pueden ser percibidas las gráficas de funciones matemáticas y las gráficas en tiempo real”. Aunque en el caso que aquí se propone no se refiere específicamente al uso de gráficas en tiempo real (aquellas que se realizan mientras el

experimento se está llevando a cabo), existen coincidencias que hacen que los aspectos señalados por Testa et al sean pertinentes. En particular, si se analiza desde la perspectiva matemática (sintáctica) destaca la necesidad de abordar considerar la habilidad de los alumnos para leer:

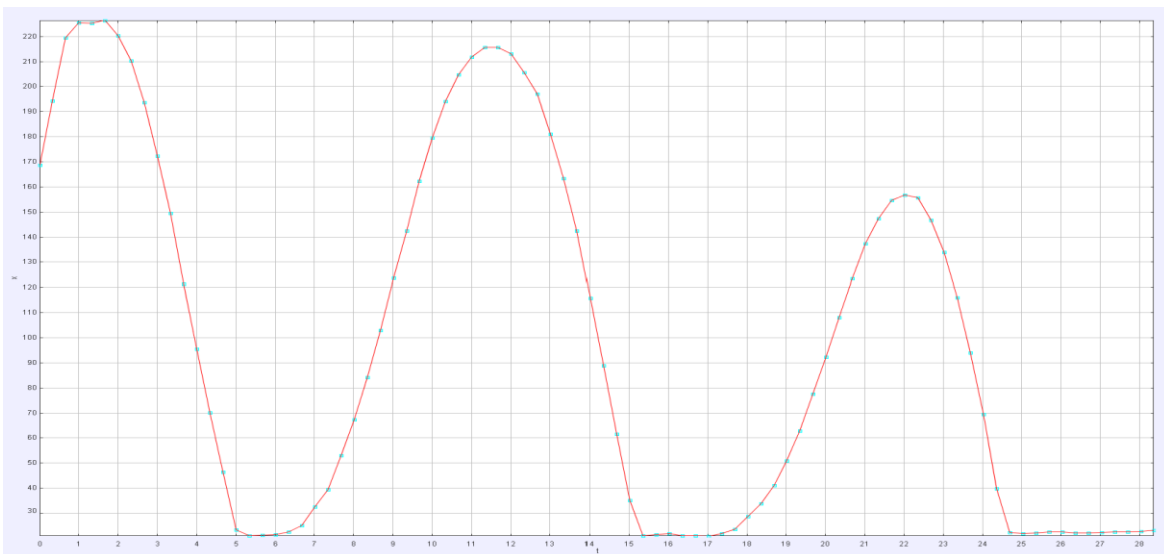
- Variables graficadas
- Número de oscilaciones.
- Cantidad de máximos y mínimos y valor numérico de ellos.
- Tiempo transcurrido entre máximos.
- Tiempo transcurrido de mínimo a máximo y de máximo a mínimo.
- Pendientes.
- Concavidades y puntos de inflexión.

Cada uno de estos aspectos sintácticos es susceptible de una interpretación desde la física conceptual que, trascendiendo la lectura matemática, ayude a crear un modelo físico descriptivo y explicativo del fenómeno. La relación que guardan los elementos sintácticos con los elementos semánticos debe ser objeto de enseñanza y aprendizaje para maestros y alumnos, y, como muestran diferentes estudios, no debería ser desdeñada o tomada a la ligera.

#### ANÁLISIS DE LA GRÁFICA DE MOVIMIENTO; CASO DE LA MÁQUINA TÉRMICA

##### GENERALES

Considerando un punto fijo en el tubo de ensayo (por simplicidad cercano al centro de masa), con los datos arrojados enfocando la atención en él puede construirse una gráfica representativa del movimiento de la cápsula. La siguiente gráfica corresponde a las posiciones verticales de dicho punto y muestra el valor aproximado de la altura del centro de masa de la cápsula como función del tiempo transcurrido.



**Ilustración 37: Gráfica posición (vertical) contra tiempo de un punto cercano al centro de masa de la cápsula.**

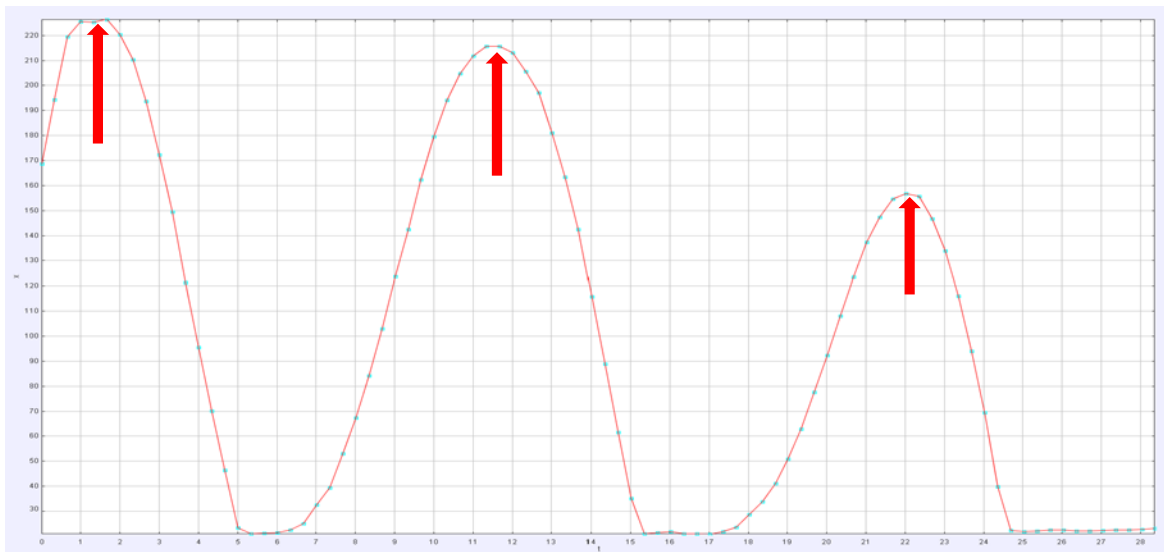
Las variables graficadas para el experimento de la máquina térmica son posición (en milímetros) y tiempo (en segundos). Las unidades asociadas no pueden ser determinadas directamente de la información gráfica dada en el programa, sino que se requiere la información obtenida durante el experimento y captura del video, al momento de calibrar la escala.

En cada una de las secciones presentadas a continuación se pueden plantear uno o varios de los siguientes apartados:

- Elemento representacional.
- Descripción de lo que se observa en el experimento o representación.
- Relación entre la representación y los conceptos físicos representados.
- Interpretación y explicación desde un modelo físico de los elementos representados.

## RELACIÓN ENTRE MÁXIMOS

### Elemento representacional:



**Ilustración 38:** Los máximos en la gráfica (señalados con las flechas rojas), forman una secuencia decreciente a través del tiempo.

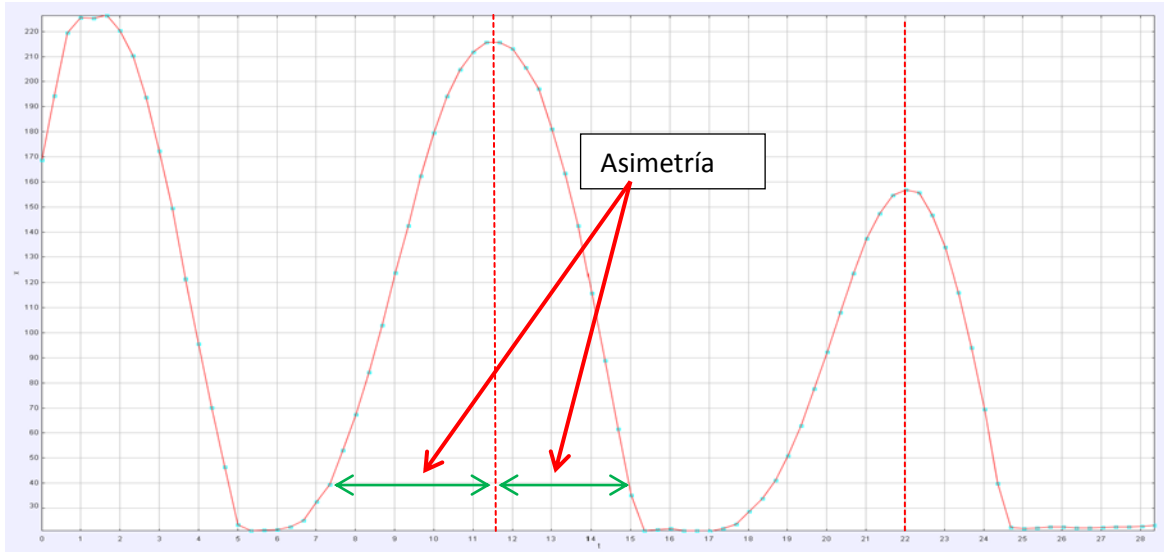
**Descripción de lo que se observa:** En la gráfica pueden observarse tres figuras similares cada una conteniendo un valor máximo, por lo que existen tres máximos en total. La altura máxima alcanzada en cada caso sigue un orden decreciente respecto al tiempo.

**Relación entre la representación y los conceptos físicos representados:** Los máximos se relacionan con la altura que alcanza la cápsula al moverse dentro del vaso de precipitado.

**Interpretación y explicación desde un modelo físico de los elementos representados:** La reducción paulatina de esos máximos se relaciona tanto con la cantidad máxima de alcohol evaporado como con el gradiente de temperatura en el agua. Así, cuando el gradiente de temperaturas va disminuyendo, debido fundamentalmente a las corrientes convectivas, la cápsula encuentra zonas frías que implican la salida de calor en regiones cada vez más bajas.

## SIMETRÍAS LOCALES

### Elemento representacional:



**Ilustración 39: Las líneas verticales que asan por los máximos no son ejes de simetría de cada sección (oscilación)**

**Descripción de lo que se observa:** Cada oscilación queda representada por una zona de pendientes positivas, un máximo y una zona de pendientes negativas. Para cada oscilación la línea vertical que pasa por el máximo correspondiente no conforma un eje de simetría, como puede comprobarse por la distancia entre un punto en dicha línea y los puntos de la gráfica a uno y otro lado de ella. La asimetría es mayor cerca de los valores pequeños de la posición y es más notoria en la tercera oscilación.

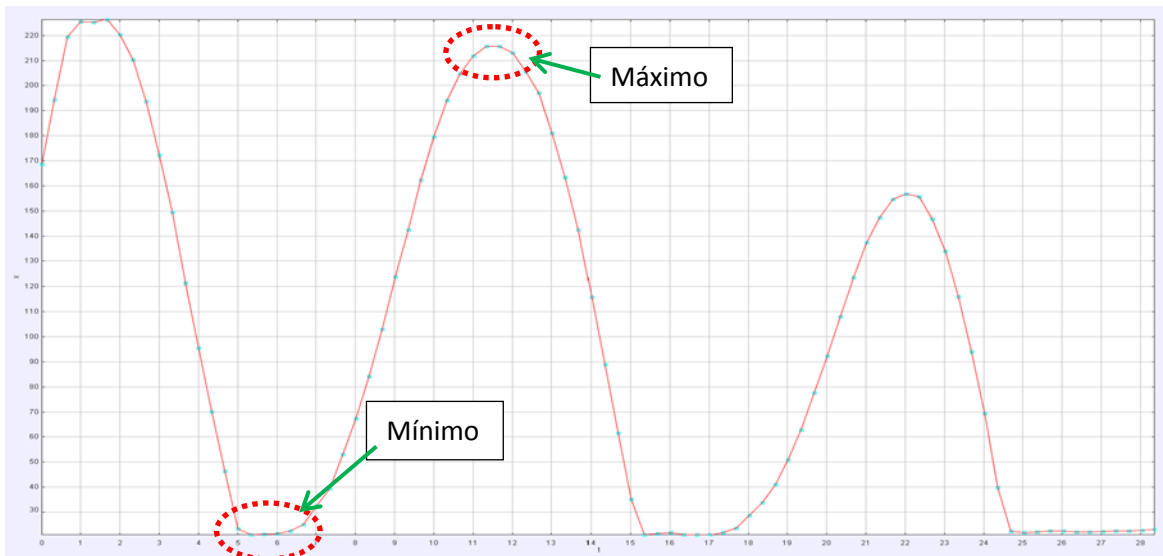
**Relación entre la representación y los conceptos físicos representados:** La gráfica es una gráfica posición-tiempo. Ejes de simetría verticales indican que el objeto ha estado en las mismas posiciones en intervalos de tiempo hacia el pasado y hacia el futuro del instante seleccionado, iguales. Así mismo, en este caso, una simetría implicaría que las rapidez medias de la cápsula, en su recorrido de subida y de bajada son iguales. Pues las pendientes serían iguales en magnitud pero de signos contrarios (excepción hecha de la pendiente nula).



**Interpretación y explicación desde un modelo físico de los elementos representados:** La asimetría en la figura muestra que las magnitudes de las velocidades medias en el recorrido de descenso y de ascenso son distintas. En este caso el descenso es más rápido que el ascenso (le lleva menos tiempo recorrer una misma distancia). La asimetría parece deberse al hecho de que en el ascenso la cápsula parte de rapidez cero, pero en el descenso existe una aceleración (que como se comenta más adelante es debida al choque de la cápsula con el fondo del recipiente)..

#### FORMA DE LAS ZONAS CERCANAS A MÁXIMOS Y MÍNIMOS

**Elemento representacional:**



**Ilustración 40:** Los máximos son máximos locales absolutos, los mínimos no lo son.

**Descripción de lo que se observa:** Los máximos y los mínimos se diferencian entre sí porque los máximos son máximos locales absolutos, pero los mínimos no lo son. En los máximos se tienen curvas suaves con concavidad negativa. En los mínimos se tiene un “pico” del lado izquierdo, seguido por una zona recta, antes de comenzar una curva suave con concavidad hacia arriba.

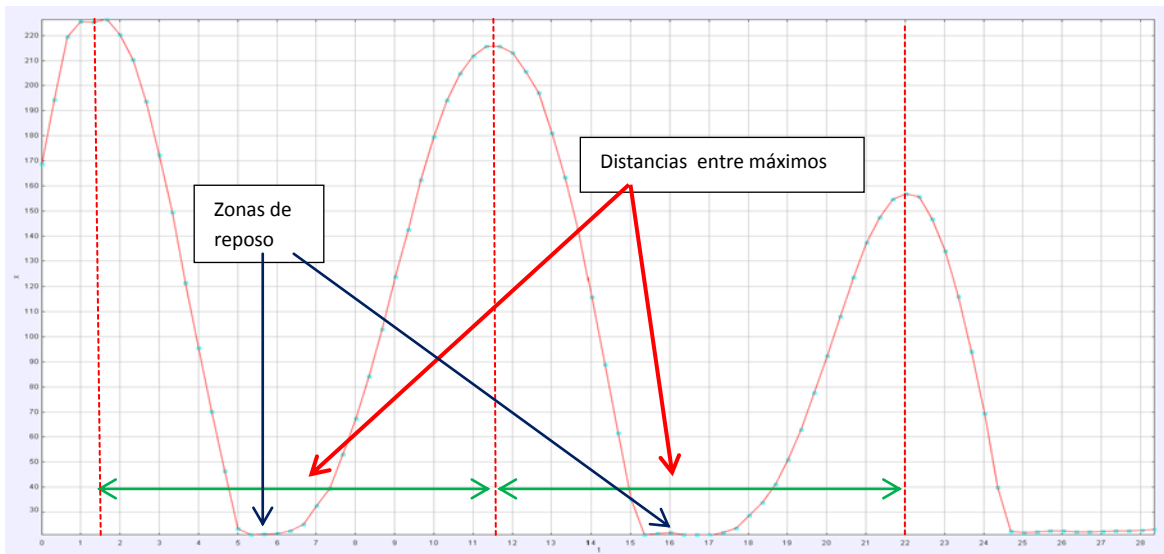
**Relación entre la representación y los conceptos físicos representados:** La curvatura en las gráficas de posición contra tiempo se relaciona con la aceleración del sistema.

**Interpretación y explicación desde un modelo físico de los elementos representados:** El tipo de curva (suave y cóncava hacia abajo) presente en los máximos implica una aceleración constante (negativa). Los picos presentes en los mínimos implican una aceleración repentina de gran magnitud (hacia arriba). Esto se relaciona con un choque, el de la cápsula con el fondo del vaso de precipitado. La gráfica correspondiente a la recta horizontal representa a la cápsula detenida (en el

fondo del vaso de precipitados). Como contraparte, al final de esa zona inicia una curva suave, señal de que la fuerza resultante es ascendente.

DISTANCIA ENTRE LAS COMPONENTES HORIZONTALES DE LOS MÁXIMOS:

**Elemento representacional:**



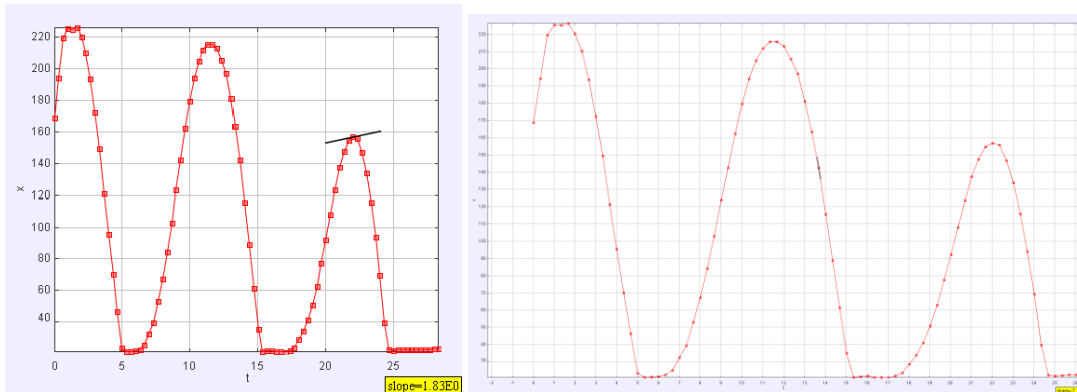
**Descripción de lo que se observa:** Hay tres máximos, por lo que existen únicamente dos intervalos entre ellos. Las distancias entre máximos son similares entre sí (aunque ligeramente mayor entre el segundo y tercer máximo)

**Relación entre la representación y los conceptos físicos representados:** La gráfica representa puntos en el plano. Ya que la componente horizontal es el tiempo, la longitud de los intervalos representa períodos de tiempo. Existe un tiempo ligeramente menor entre los dos primeros máximos en comparación con el tiempo transcurrido entre el segundo y el tercero. Esa diferencia de tiempos parece relacionarse con un mayor tiempo en reposo en el segundo intervalo.

**Interpretación y explicación desde un modelo físico de los elementos representados:** El incremento en el tiempo de reposo implica un menor ritmo de evaporación de alcohol en el interior de la cápsula. Como la evaporación depende del intercambio de calor con el alrededor (el agua caliente), se sigue que dicho intercambio debió haberse reducido. Esto parece deberse a una reducción en la temperatura del agua, a su vez debida a la presencia de corrientes convectivas relacionadas con el gradiente invertido de temperaturas en el agua.

PENDIENTE EN UN PUNTO DE LA GRÁFICA:

**Elemento representacional:**



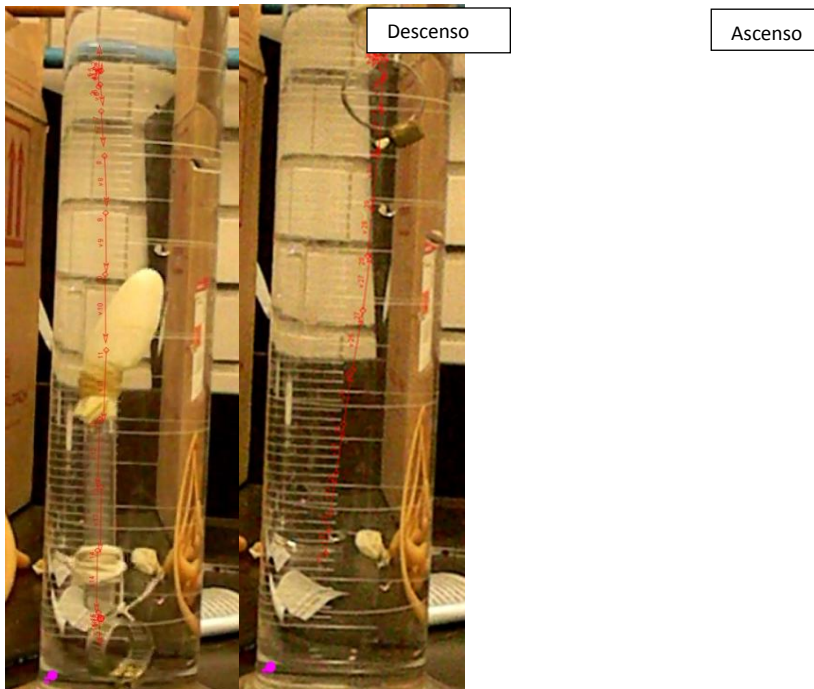
**Descripción de lo que se observa:** Hay un segmento rectilíneo apoyado en un punto sobre la gráfica que parece adquirir la inclinación de la gráfica en ese punto (durante el uso de la aplicación de análisis en el programa se ve a dinámica de dicho segmento).

**Relación entre la representación y los conceptos físicos representados:** El segmento rectilíneo representa la recta tangente a la gráfica en el punto de la gráfica por el que pasa. La pendiente de esa recta en un gráfico de posición contra tiempo se relaciona con la velocidad del móvil en el instante correspondiente.

**Interpretación y explicación desde un modelo físico de los elementos representados:** La velocidad del objeto es variable. En los puntos máximos y mínimos la velocidad es cero. En los descensos la velocidad es negativa y en los ascensos positiva. La velocidad máxima se encuentra aproximadamente en los puntos intermedios de la trayectoria. Esto puede corroborarse con otra representación de velocidades obtenida mediante el programa, como se muestra a continuación.

VELOCIDAD:

**Elemento representacional:**



**Descripción de lo que se observa:** Sobre las imágenes del experimento se presentan unas flechas que apuntan hacia abajo (arriba) y cuya magnitud es variable, siendo de menor tamaño en los extremos y de mayor tamaño en las zonas centrales.

**Relación entre la representación y los conceptos físicos representados:** Para representar velocidades se utiliza la representación vectorial gráfica, que asemeja flechas. La longitud de dichas flechas es directamente proporcional a la magnitud de la velocidad que representan. La dirección de las flechas indica a dirección de la velocidad (del movimiento) y la punta de la flecha indica el sentido de dicho movimiento.

**Interpretación y explicación desde un modelo físico de los elementos representados:** La distribución de las magnitudes de los vectores a lo largo de la trayectoria muestra que, durante el descenso, la rapidez de la cápsula fue en aumento hasta alcanzar un máximo y después se redujo ligeramente, para después detenerse. Durante el ascenso la cápsula aumenta su rapidez hasta llegar a un máximo y después la reduce de manera paulatina. No es posible examinar con detalle el momento en que se alcanza la máxima rapidez. La rapidez máxima en las zonas intermedias se pueden deber a varios aspectos; la cápsula alcanza la velocidad terminal de desplazamiento en el agua, y después cambian las condiciones (choque el fondo del vaso en el caso del descenso y llegada de la cabeza de la cápsula a la superficie (caso de ascenso)).

## ACELERACIÓN:

### Elemento

Vectores de aceleración durante el ascenso de la cápsula



representacional:

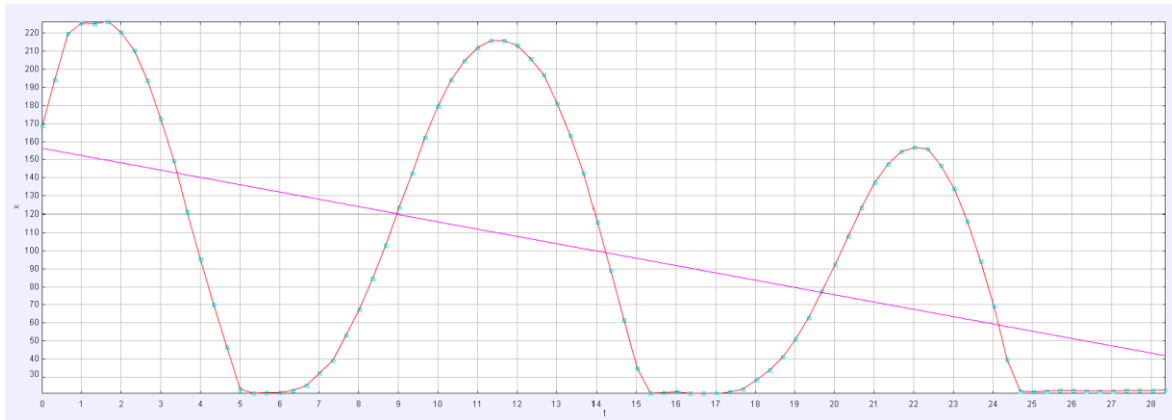
**Descripción de lo que se observa:** Sobre las imágenes del experimento se presentan unas flechas que pueden dividirse en dos grupos; en el grupo inferior un grupo las flechas apuntan hacia arriba, en el grupo superior apuntan hacia abajo. En la zona central las flechas tienen magnitud pequeña o nula.

**Relación entre la representación y los conceptos físicos representados:** Para representar aceleraciones se utiliza la representación vectorial gráfica. La longitud de cada "flecha" es directamente proporcional a la magnitud de la aceleración que representa. La dirección de las flechas indica a dirección de la aceleración de la cápsula (y por lo tanto la dirección de la resultante de la fuerza) y la punta de la flecha indica el sentido de dicho movimiento (y el sentido de la fuerza resultante)

**Interpretación y explicación desde un modelo físico de los elementos representados:** Durante el ascenso la fuerza es máxima poco después que la cápsula comienza a ascender, pero se anula al llegar a la mitad de la trayectoria para convertirse en una fuerza contraria que encuentra su valor máximo en el punto más alto de la trayectoria. Esto puede deberse a que en la zona intermedia de la trayectoria la "cabeza" de la cápsula entra en contacto con la zona fría de agua (hielo), lo que provoca una pérdida de calor y a su vez la condensación del alcohol. Dicha condensación va acompañada de una reducción de volumen de la cápsula, lo que provoca una pérdida en la fuerza de empuje asociada al principio de Arquímedes. El peso y la fricción con el agua dominan provocando una aceleración hacia abajo.

LÍNEA DE TENDENCIA:

**Elemento representacional:**



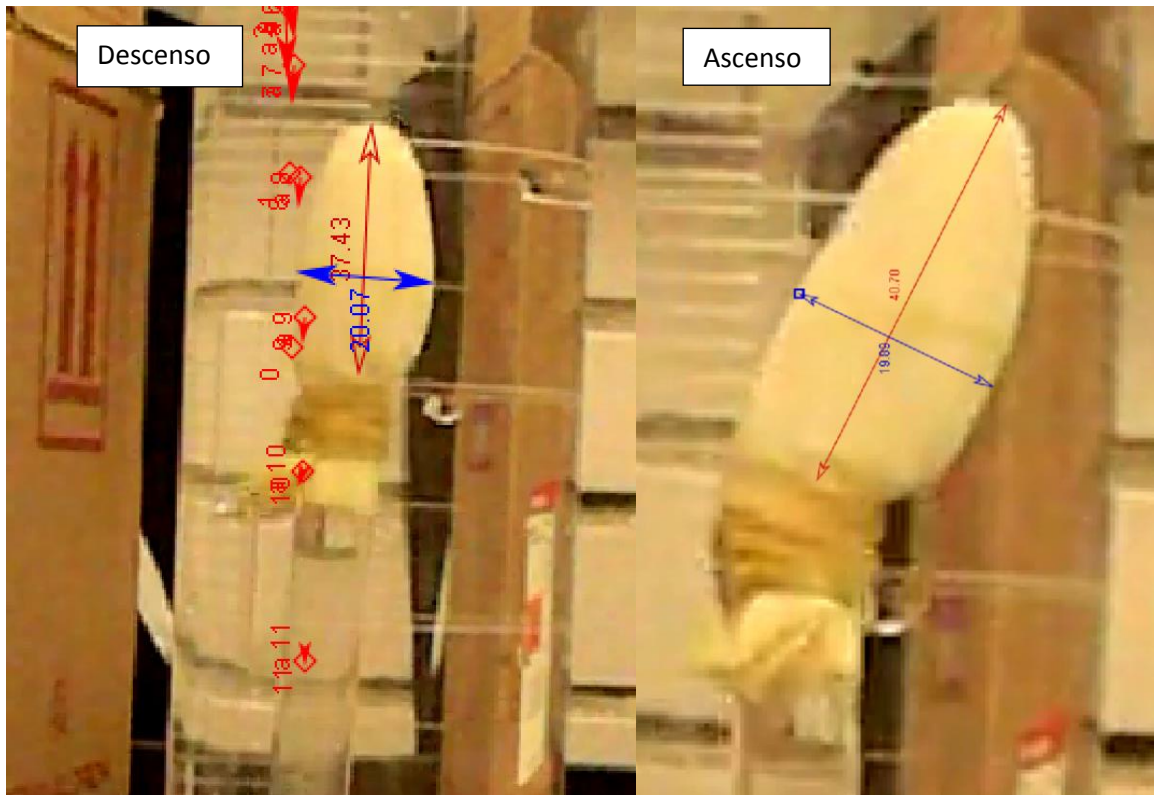
**Descripción de lo que se observa:** Una línea con pendiente negativa que atraviesa el patrón de oscilación.

**Relación entre la representación y los conceptos físicos representados:** La línea de tendencia marca una aproximación lineal del fenómeno observado. Puede relacionarse con la tendencia del movimiento en conjunto.

**Interpretación y explicación desde un modelo físico de los elementos representados:** Aunque la línea de tendencia no tiene una interpretación física directa, puede ser útil para dar una primera aproximación al describir por qué la cápsula no tuvo otra oscilación.

## MEDIDA DE LA CABEZA DE LA CÁPSULA

### Elemento representacional:



**Descripción de lo que se observa:** Sobre la imagen existen flechas de doble punta y valores numéricos que las acompañan. LA ESCALA ES DISTINTA EN AMBAS TOMAS.

**Relación entre la representación y los conceptos físicos representados:** Las longitudes medidas en la proyección plana son un indicativo de las medidas volumétricas de la cápsula. Las medidas están dadas en milímetros. La imagen de la izquierda corresponde a la cápsula cuando comienza a descender. La imagen de la derecha corresponde a la cápsula cuando comienza el ascenso.

**Interpretación y explicación desde un modelo físico de los elementos representados:** La forma de la cápsula puede aproximarse a un cilindro. En ese caso las medidas serían diámetro de la base (en azul) y altura del cilindro (en rojo). Aunque las medidas coinciden con lo esperado (mayor volumen al comenzar el ascenso, lo que justificaría el mayor empuje), los valores medidos parecen divergir sólo ligeramente, y la diferencia queda opacada por los posibles errores durante la medición. Es decir, no se comprueba por este medio la hipótesis de que la cápsula oscile debido a oscilaciones en el empuje de Arquímedes asociadas a cambios en el volumen de la cabeza de la cápsula, debidos a su vez a evaporación del alcohol por intercambios de calor producto del gradiente de temperaturas y la acción de la gravedad.

## CREACIÓN Y ANÁLISIS DE UNA MÁQUINA TÉRMICA

## GUÍA PARA EL ALUMNO

Esta guía pretende ayudarte a dirigir la atención hacia ciertos aspectos del experimento y de su análisis que resultan importantes desde la perspectiva de la física. No se trata de imponer una postura sobre lo que te puede parecer atractivo (o no) del experimento, sino más bien de ayudarte a construir ciertas “claves de lectura” que te permitan aproximarte a la forma de “ver” que se usa en física.

### OBJETIVO:

A través de este experimento podrás observar una máquina térmica construida a partir de materiales relativamente fáciles de conseguir en el laboratorio escolar. Conocerás distintas formas de representar el fenómeno observado y construirán uno o varios modelos analizando el fenómeno desde diferentes perspectivas.

Así mismo, utilizarás y valorarás un programa de análisis de video científico que involucra Representaciones Múltiples.

### TIPO DE ORGANIZACIÓN PARA EL TRABAJO:

El trabajo puede dividirse en dos secciones; la observación del experimento y el análisis de datos resultados. La primera de ellas la realizarás por equipos y la segunda se hará a partir de la video filmación (trabajo en equipo o grupal dependiendo de las posibilidades de contar con el equipo de filmación) y uso de software (grupal, por equipos o individual dependiendo de la posibilidad de acceso al equipo de cómputo).

### INVESTIGACIÓN PREVIA:

Investiga qué es una máquina térmica y qué la caracteriza. Investiga qué características debe cumplir un objeto para que flote en el agua y qué se requiere para que el objeto se hunda. Recuerda el concepto de fuerza y cómo se relaciona con el trabajo realizado.

### MATERIAL:

El material necesario para el dispositivo experimental es:

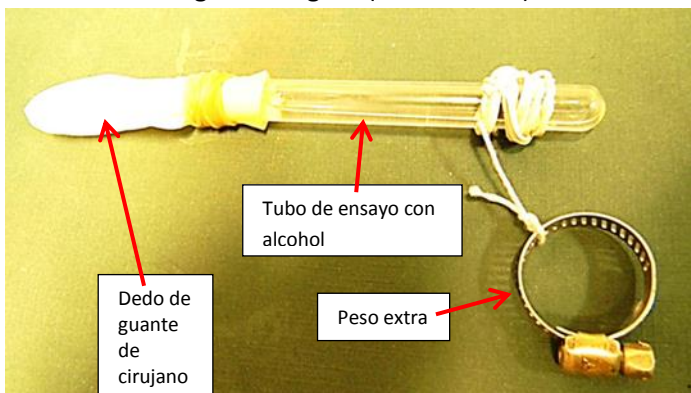
- 1 Vaso de precipitado alto de 2 lts.
- 1 Recipiente para calentar 1.5 lts de. agua.
- 1 vaso de precipitado para sumergir el tubo de ensayo, cuidando que pueda sumergirse por completo al colocarlo en posición vertical.
- 1 Tubo de ensayo
- 1 Guante de cirujano
- 2 Ligas
- Pesos pequeños (tuercas de metal, abrazaderas, arandelas o algo similar).
- Parrilla eléctrica o mechero de bunsen y complementos para calentar el agua.
- Alcohol
- Agua
- Hielo (aproximadamente unos 40 cubitos + reposición por si quieres repetir el



experimento)
<p>Dependiendo de los objetivos propuestos acordados con tu profesor puede ser necesario, además, el siguiente material:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1 Balanza de precisión</li> <li>○ 1 Cronómetro</li> <li>○ 1 Cámara de video o fotográfica con aplicaciones de video de buena calidad.</li> <li>○ 1 Computadora.</li> <li>○ Termómetro</li> </ul>

**DISPOSITIVO EXPERIMENTAL Y PROCEDIMIENTO:**

Pon a calentar 1.5 litros de agua en el recipiente. Mientras el agua se calienta corta un dedo del guante de cirujano, coloca alcohol dentro del tubo de ensayo de tal forma que se llene aproximadamente hasta 2/3 de su capacidad. Tapa el tubo de ensayo con el dedo de guante que has recortado y sujétalo fuertemente con la liga, de tal forma que no escape el alcohol, como se muestra en la siguiente figura (Ilustración 1):



**Ilustración 41 Cápsula: Tubo de ensayo con alcohol sellado con un "dedo" del guante de cirujano y contrapeso.**

**Calibración del tubo con el contrapeso:**

Sujeta un peso extra (lastre) en al tubo de ensayo (ara sujetarlo puedes usar una liga y un pedacito de hilo). Debes conseguir que el peso colocado sea suficiente como para que el tubo de ensayo se hunda en el agua cuando ella está a temperatura ambiente, pero que al colocarlo en agua caliente (con una temperatura mayor que el punto de ebullición del alcohol) salga a flote. Para ello investiga cuál es el punto de ebullición del alcohol y anótalo a continuación:

Punto de ebullición del alcohol: \_\_\_\_\_

Mide la masa del tubo de ensayo, con alcohol y con contrapeso (de aquí en adelante le llamaremos "La Cápsula". Mide la longitud de La Cápsula y anota las medidas obtenidas a continuación:

Masa del tubo de ensayo: \_\_\_\_\_

Longitud del tubo de ensayo: \_\_\_\_\_

Volumen del tubo de ensayo: \_\_\_\_\_

Comenta con tus compañeros de equipo por qué creen que son importantes para la explicación del experimento las tres medidas anteriores y anoten su respuesta en los siguientes reglones (¿Cómo se relacionan la masa y el volumen de la cápsula con el hecho de que flote o se hunda?):

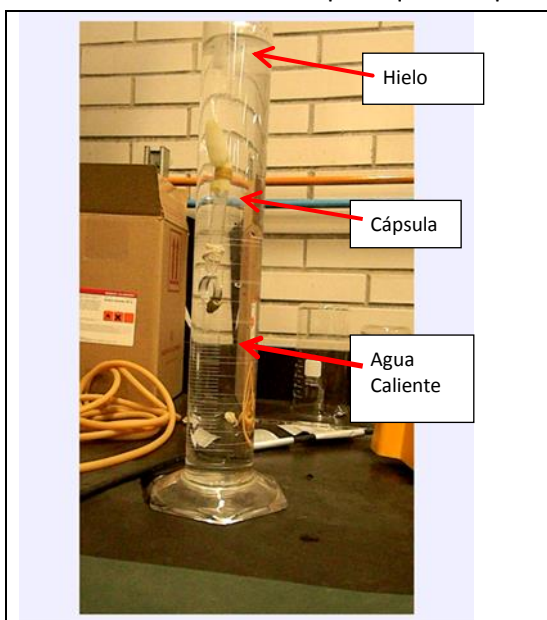
---

---

---

---

Cuando el agua ha sobrepasado lo suficiente el punto de ebullición del alcohol agréguela dentro del vaso de precipitado alto, cuidando no quemarse. Coloquen la cápsula dentro del agua caliente (cuando se ha calentado la cápsula debe permanecer flotando) y añadan cuidadosamente hielo al agua caliente del vaso de precipitado tratando de no agitar el agua al añadir el hielo. Añadan tanto hielo como sea necesario para que la cápsula comience a bajar.



Observa y describe lo sucedido.

---

---

---

---

---

**PARA LA VIDEO FILMACIÓN:**

Coloquen la cámara de video de tal forma que se observe todo el recorrido de la cápsula y que la cámara no se mueva. Marquen un punto sobre el tubo de ensayo, de un color que sobresalga, ello permitirá hacer uso de la opción de trayectoria automática en el software.

Repitan el experimento filmando desde que colocan la cápsula en el vaso de precipitado con agua caliente y sigan filmando hasta que la cápsula no vuelva a ascender. Corroboren que la filmación ha terminado exitosamente.

## ANÁLISIS DE LA VIDEO FILMACIÓN

Obtención de la gráfica de movimiento usando Track 4.05:

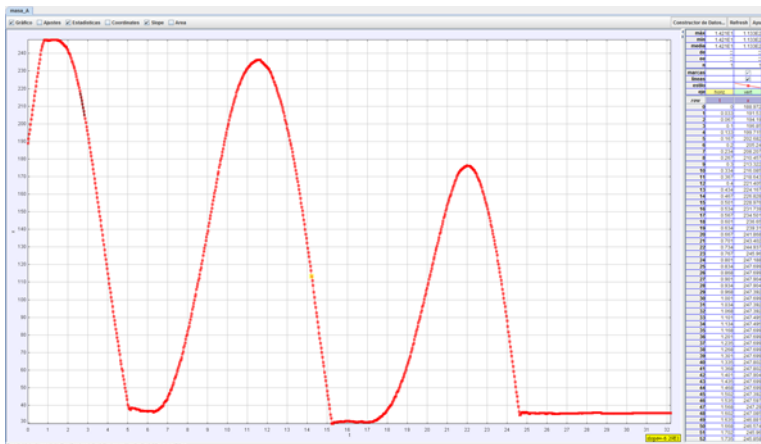
Dependiendo de lo que hayan acordado con su maestro el trabajo podrá realizarse grupalmente, por equipos o de manera individual. Si se tienen varias filmaciones y se decide un trabajo grupal selecciones cuál de ellas muestra mejor el fenómeno (criterios: claridad de imagen, que contenga el recorrido completo, número de veces que se repitió la oscilación, etc.).

Importen el video con el programa Tracker 4.05, que probablemente requiera que se familiaricen con el entorno que propone. Cuando el programa termine de adquirir el video aparecerá la imagen en la pantalla.

Seleccionen en la barra de herramientas la opción “Mostrar, ocultar o elegir las herramientas de calibración”, que se indica con un pequeño ícono cerca del ícono “Guardar”. Utiliza la longitud que mediste del tubo de ensayo para calibrar la escala. Después selecciona “Crear” y de ahí “masa puntual”; esto permite crear un punto del video sobre el que se hará el análisis de movimiento. Aparecerá en la barra de herramientas un pequeño recuadro que dice “masa A”. Abriendo ese recuadro se encuentra las opciones para crear la trayectoria.

Si es suficientemente claro el punto que marcaste sobre el tubo de ensayo se puede utilizar la opción “Trayectoria automática”. Sigue los pasos indicados en pantalla.

Si el punto no es claro puedes crear la trayectoria seleccionando un punto en el video y oprimiendo simultáneamente las teclas “Mayúsculas” y “Click”. El número de cuadros de la filmación que se dejan entre cada marca es opcional y puede cambiarse si se quiere realizar la trayectoria más rápidamente, aunque tiene la desventaja de que los puntos quedan más separados. La gráfica de movimiento se creará en la esquina superior derecha de la pantalla y será semejante a la siguiente:



### ANÁLISIS DE LA GRÁFICA:

La lectura de gráficas es central en física, pero es necesario aprender a interpretar la información contenida en ellas. A continuación te proponemos algunas preguntas relacionadas con la lectura de la gráfica de movimiento, respóndelas utilizando la gráfica que realizaste.

1. ¿Qué variables se están graficando en cada uno de los ejes?
2. ¿Qué unidades se utilizan para cada una de esas variables?
3. ¿Cuántas oscilaciones se presentaron durante el experimento?
4. ¿Qué ocurre con los valores máximos conforme avanza el tiempo?
5. ¿Cuál es el valor máximo (en el eje vertical) que se obtiene en cada una de esas oscilaciones?
6. ¿Cuál es el valor mínimo (en el eje vertical) que se obtiene en cada una de esas oscilaciones?
7. ¿Cuáles son los valores en el eje horizontal que corresponden con cada uno de los máximos en el eje vertical?
8. Si se considera una “oscilación” (subida y bajada) y la recta vertical que pasa por un punto de valor máximo ¿es esta recta un eje de simetría de la oscilación?

TRABAJO POR EQUIPOS: Si es posible, repartan entre los diferentes equipos del grupo los siguientes grupos de preguntas presentados a continuación. Posteriormente cada equipo presentará y explicará sus respuestas ante el grupo, siguiendo de ellas una discusión grupal para llegar a conclusiones conjuntas.

#### I. INTERPRETACIÓN FÍSICA (CINEMÁTICA):

1. ¿Qué significado físico tienen las coordenadas “x” de cada punto graficado? Ejemplifica con un punto de la gráfica obtenida.
2. ¿Qué significado físico tienen las coordenadas “y” de cada punto graficado? Ejemplifica con un punto de la gráfica obtenida.
3. ¿Qué relación tienen con el experimento los valores máximos de la gráfica en el eje vertical? Ejemplifica con un punto de la gráfica obtenida.
4. ¿Qué significado físico tiene un intervalo en el eje horizontal? Ejemplifica con un intervalo de la gráfica obtenida.
5. ¿Cómo puede saberse cuánto tardó la cápsula en bajar y subir si se considera la información gráfica? Ejemplifica un caso con la información de la gráfica obtenida.
6. ¿Cómo puede saberse, a partir de la información gráfica, si la cápsula tarda más en bajar o en subir o si el tiempo requerido en bajar y subir es el mismo? ¿Se relaciona este hecho con la simetría o asimetría planteada en el punto 8 del análisis sintáctico? Ejemplifica con un caso de simetría o asimetría.
7. ¿Cómo puede determinarse, a partir de la información gráfica, la rapidez media de la cápsula al subir o al bajar? Ejemplifica con un caso de la gráfica obtenida.
8. ¿Con qué información de la gráfica puede asociarse la rapidez de la cápsula en un instante dado? Ejemplifica usando un caso de la gráfica obtenida.

9. ¿Cómo puede saberse, a partir de la información gráfica, si la cápsula se mueve con rapidez constante o variable? Ejemplifica marcando los intervalos correspondientes en una gráfica.
10. ¿Cómo puede saberse, a partir de la información gráfica, dónde aumentaba la velocidad de la cápsula y dónde disminuía? Imprime o copia la gráfica y marca en ella las zonas en que la velocidad se incrementaba y las zonas en que la velocidad decrecía.
11. ¿Cómo se relaciona el cambio de la velocidad con la aceleración de la cápsula? Ejemplifica considerando a masa de la cápsula según la medición que tomaste.
12. La aceleración de la cápsula puede ser positiva, negativa o cero a lo largo de la trayectoria. Marca dichas zonas sobre la gráfica impresa o sobre la copia de la gráfica que hiciste. ¿Coinciden estas zonas con el hecho de que la cápsula suba o baje?

## II. INTERPRETACIÓN FÍSICA (DIAGRAMAS DE FUERZAS Y DINÁMICA DE LA CÁPSULA)

- 1.- ¿Cómo puede saberse a partir de la información gráfica hacia dónde actuaba la fuerza resultante en un momento dado? Ejemplifica con dos puntos de la gráfica en que la dirección de la fuerza resultante sea diferente y uno en que la fuerza resultante sea cero. Considera un punto en la trayectoria de la cápsula y realiza un diagrama de fuerzas (cualitativamente correcto) para modelar tanto las fuerzas que afectan la cápsula en ese momento y la fuerza resultante sobre la cápsula.
- 2.- ¿Qué diferencias se encuentran al comparar las fuerzas sobre la cápsula cuando la cápsula acelera hacia arriba con las fuerzas cuando la cápsula acelera hacia abajo?
- 3.- ¿Cuál es la dirección de la fuerza resultante en cada parte de la trayectoria?
- 4.- ¿Cuál es la fuerza resultante en la última zona graficada del experimento del experimento?
- 5.- ¿Cómo se relaciona el experimento con el principio de Arquímedes?

## III. MODELO EXPLICATIVO DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA ENERGÍA

1. ¿Qué tipos de energía se asocian con el fenómeno observado? Explica tu respuesta.
2. ¿Qué ocurre con la energía potencial gravitacional de la cápsula mientras la cápsula sube?
3. ¿Qué ocurre con la energía potencial gravitacional de la cápsula mientras la cápsula baja?
4. ¿En qué zonas de la trayectoria consideras que entra calor a la cápsula y en qué zonas sale calor de la cápsula?
5. ¿Cuál es el efecto sobre el alcohol cuando entra calor a la cápsula?
6. ¿Cuál es el efecto de la entrada de calor sobre el movimiento de la cápsula?
7. ¿Qué papel juega el agua caliente y qué papel juega el hielo en el fenómeno observado?
8. ¿Por qué después de algún tiempo la cápsula deja oscilar (subir y bajar)?

CONSIDERANDO LO ANTERIOR HAZ UNA SINTESIS PARA EXPLÍCAR EL FUNCIONAMIENTO DE LA CÁPSULA Y ARGUMENTA POR QUÉ SE CONSIDERA UNA MÁQUINA TÉRMICA. REALIZA LOS DIBUJOS O ESQUEMAS PERTINENTES COMO APOYO A LA EXPLICACIÓN.

## Trabajos citados

- Acevedo Diaz, J. A., Vázquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (2003). Papel de la educación CTS en una alfabetización científica y tecnológica para todas las personas. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 2(2), 80-111.
- Aguilar, S., Maturano, C., & Nuñez, G. (2007). Utilización de imágenes para la detección de concepciones alternativas: un estudio exploratorio con estudiantes universitarios. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 691-713.
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 183-198.
- Ainsworth, S. (2008). The educational value of multiple representations when learning complex scientific concepts. En J. Gilbert, M. Reiner, & M. (. Nakhleh, *Visualization: Theory and practice in science education* (págs. 191-208). Springer.
- Aparici, R., Fernández Baena, J., García Mantilla, A., & Osuna Acevedo, S. (2006). *La imagen*. Barcelona: Gedisa.
- Ausubel, D. (1981). *Psicología Educativa: Un punto de vista cognoscitivo* 1981. Trillas.
- Basterretxea Polo, J. I., Jiménez, E., Zarandona, E., Andrieu, A., & Ramírez de la Piscina, J. M. (2010). Grados de alfabetización y habilidad audiovisual-digital en la comunidad escolar del País Vasco. *II Congreso Internacional AE-IC Málaga 2010: Comunicación y desarrollo en la era digital* (pág. 6). Málaga, España: Asociación Española de Investigación en Comunicación.
- Beuchot, M. (2007). Interpretación, Analogía e Iconicidad. En M. Beuchot, C. Pereda, & R. Mier, *Semántica de las imágenes. Figuración, fantasía e iconicidad* (págs. 15-28). México: Siglo XXI.
- Bonal, X. (2009). La educación en tiempos de globalización. *Educación y Sociedad*, 30(108), 653-671. Recuperado el Octubre de 2010
- Bravo, S., & Pesa, M. (2005). La construcción de representaciones sobre movimiento ondulatorio: Una interpretación a partir de la integración de la teoría de campos conceptuales de Vergnaud y la teoría de modelos mentales de Johnson-Laird. *Revista de Enseñanza de la Física*, 18(2), 25-42.
- Caivano, J. L. (2005). Semiótica, cognición y comunicación visual: Los signos básicos que construyen lo visible. *Semiótica de lo visual, Topics del seminario 13*, (págs. 113-135). Buenos Aires.

- Campanario, J. M. (2000). El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: Estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 369-380.
- Campos, A., & González, M. (1994). Imagen, Inteligencia y Creatividad. *Psicothema*, 6(003), 387-393.
- Cardelli, J. (2004). Reflexiones críticas sobre el concepto de Transposición Didáctica de Chevallard. *Cuadernos de Antropología Social*(19), 49-61.
- Di Sessa, A., Hammer, D., & Sherin, B. (1991). Inventing graphing: Meta Representational Expertise in Childrens. *Journal of Mathematical Behavior*, 10, 117-160.
- Di Sessa, A. A., & Sherin, B. L. (1998). What changes un conceptual change? *Internationa Lournal of Science Education*, 20(10).
- Dondis, D. (2000). *La sintaxis de la imagen*. Barcelona: GG Diseño.
- Eilam, B., & Poyas, Y. (01 de March de 2010). External Visual Representations in Science Learning The case of relations among system components. *International Journal of Science Education*, 32(17), 2336-2366.
- Fernández González, J., Elortegui Escartín, N., Rodríguez García, J., & Moreno Jiménez, T. (2001). *Modelos Didácticos y Enseñanza de la Ciencia*. Tenerife: Centro de la Cultura Popular Canaria.
- Ferrandini, S., & Tedesco, R. (Marzo de 1997). Lectura de la imagen. *Comunicar*(8), 157.
- Gadgil, S., Nokes-Malach, T., & Chi, M. (2012). Effectiveness of holistic mental model confrontation in driving conceptual change. *Learning and Instruction*(22), 47-61.
- Galagovsky, L. (2004). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), 349-364.
- Galagowski, L., & Aduriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las Ciencias Naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 231-242.
- Galagowsky, L., Di Giacomo, M. A., & Castelo, V. (2009). Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de las fuerzas intermoleculares. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), 1-22.
- García Arques, J., Pro Bueno, A., & O. S. (s.f.). *La enseñanza de la Física*.
- García García, J. J. (2005). *La comprensión de las representaciones gráficas cartesianas presentes en los libros de texto de ciencias experimentales, sus características y el uso que se hace de*

*ellas en el aula*. Universidad de Granada, Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Facultad de Ciencias de la Educación.

Gende, D. (2008). *AP Physics .Multiple Representations of Knowledge: Mechanics and Energy*. The College Board.

Gilbert, J. K., Reiner, M., & Nakhleh, M. (. (2008). *Visualizaion: Theory an Practice in Science Education*. Springer.

Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2008). La integración de los modelos mentales y esquemas de asimilación para la comprensión de procesos de aprendizaje significativo. En M. L. Rodríguez Palmero, *La teoría del aprendizajes significativo en la perspectiva de la Psicología Cognitiva* (págs. 133-161). Barcelona: Octaedro.

Greca, I., & Moreira, M. A. (1998). Modelos Mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 289-303.

Gutierrez Vargas, M., Camargo López, J., & Guerrero Andrade, M. (2004). Alfabetización Visual e Imagen. *Cuarto Congreso Nacional y Tercero Internacional "Retos y expectativas de la Universidad"*. Coahuila: Universidad Autónoma Metropolitana.

Gutierrez-Vargas, M. E., J., C.-L., & Guerrero-Andrade, M. (2004). Alfabetización visual, Lenguaje visual e Imagen. *Cuarto Congreso Nacional y Tercero Internacional: "Retos y Expectativas de la Universidad"*. Coahuila.

Hernández Rojas, G. (2006). *Miradas constructivistas en pricología de la educación*. Editorial Paidós.

Ives Solano Araujo, E. A. (2007). Simulações computacionais na aprendizagem da Lei de Gauss para a eletricidade e da Lei de Ampère em nível de Física Geral. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 601-629.

Johnson-Laird, P. (1996). Images, models, and propositional representations. En D. V. al., *Models of visuospatial cognition* (págs. 90-127). NewYork: Oxford University Pess.

Kirby, K., & Kossolyn, S. (1990). Thinking Visually. *Mind and Language*, 5(4).

Knight, R. (2008). Using Multiple Representations to Understand Physics. En T. C. Board, *AP Physics. Multiple Representations of Knowledge: Mechanics and Energy* (págs. 29-57). The College Board.

Kohl, P. B. (2007). *Towards an understanding of how students use representations in physics problem solving*. Faculty of the Graduate School of the University of Colorado, Departament of Physics.



- Kohl, P., & Filkenstein, N. (2008). Expert and Novice Use of Multiple Reresentations During Physics Problem Solving.
- Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987). Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. *Cognitive Science*, 65-99.
- Llancaqueo, A., Caballero, M. C., & 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*, 25(4), 399-417.
- Lombardi, G., Caballero, C., & Moreira, M. A. (2009). El concepto de representación externa como base teórica para generar estrategias que promuevan la lectura significativa del lenguaje científico. *Revista de Investigación*(66), 147-186.
- López Pérez, B. E. (enero-junio de 2008). *Imagen y Construcción del sujeto: el sentido y el desarrollo tecnológico*. (U. L. Salle, Ed.) Recuperado el 2 de Septiembre de 2010, de <<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=34282904>>.
- López Simó, V., & Pintó Casulleras, R. (2011). Per què les imatges científiques poden ser problemàtiques per a l'ensenyament de les ciències? L'exemple de l'estructura, el color i la forma d'una imatge científica. *Ciències*, 20, 22-26.
- Máximo, A., & Alvarenga, B. (2003). *Física General*. México: Oxford.
- Mayer, R. (2000). Diseño Educativo para un Aprendizaje Constructivista. En C. (. Reigeluth, *Diseño de la instrucción Teorías y Moodelos. Un paradigma de la teoría de la instrucción*. (págs. 153-171). Madrid: Aula XXI. Santillana.
- Moreira, M. A., Greca, M., & Rodríguez Palmero, M. L. (2002). Modelos Mentales y Modelos Conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las Ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2(3), 37-57.
- Neumann Coto, G. (2011). Necesidad de una Hermenéutica Analógica dentro de las clases de Ciencia del Bachillerato. En N. Conde Gaxiola, *Hermenéutica, analogía y temáticas trascendentales* (págs. 181-194). México: Editoral Torres y Asociados.
- Neumann, G., & Segarra, P. (August de 2012). Interpretation and use of the image in high school physics courses. *Latin American Journal on Physics Education*, 6(Suppl. I), 330-334.
- OCDE. (1997). *Estudio de la OCDE sobre el empleo. Parte I: Tendencias del mercado de trabajo y fuerzas subyacentes*. Madrid: MTSS.
- OCDE. (2006). *PISA 2006. Marco de evaluación. Conocimientos y habilidades en Ciencias, Matemáticas y Lectura*. OCDE.

- Oostra, A. (10 de Octubre de 2003). *Peirce y los Diagramas*. Recuperado el 22 de 4 de 2013, de [www.unav.es/gep/IIJornada/PeirceYLosDiagramas.pdf](http://www.unav.es/gep/IIJornada/PeirceYLosDiagramas.pdf)
- Otero. (1999). Psicología Cognitiva, Representaciones Mentales e Investigación en Ciencias. *Investigacoes em ensino do ciencias, 4(12)*, 93-119.
- Otero, M. R. (1999). Psicología Cognitiva, Representaciones Mentales e investigación en la enseñanza de las Ciencias. *Investigacoes em Ensino de Ciências, 4(2)*, 93-119.
- Otero, M. R. (2002). *Imágenes y Enseñanza de la Física: Una visión Cognitiva*. Universidad de Burgos y Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Burgos.
- Otero, M., Greca, I., & Lang da Silveira, F. (2003). Imágenes visuales en el aula y rendimiento escolar en Física: un estudio comparativo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 2*, 1-30.
- Otero, R. (2002). *Imágenes y Enseñanza de la Física: Una visión Cognitiva*. Universidad de Burgos y Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Burgos.
- Paivio, A. (1981). Dual Coding and bilingual memory. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior(20)*.
- Paivio, A. (2006). Dual Coding and Education. *Pathways to Literacy Achivement for High Poverty Children*. Michigan.
- Perales López, J. C., & Romero Barriga, J. F. (2005). Procesamiento conjunto de lenguaje e imágenes en contextos didácticos: Una aproximación cognitiva. *Anales de Psicología, 21(1)*, 129-146.
- Perales, F. J., & Jiménez, J. d. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las Ciencia, Análisis de libros de texto. *ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS, 369-386 369, 20(3)*, 369-386.
- Pontes, A. (2005). Aplicaciones de las tecnologías de la información y de la comunicación en la educación científica. Primera parte. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias, 001*, 2-18.
- Pozo Muciño, J. (2002). *Aprendices y maestros; La nueva cultura del aprendizaje*. Madrid: Alianza Editorial.
- Resnick, R., & Halliday, D. (1998). *Física: Parte 1*. México: CECSA.
- Rodríguez Palmero, M. L. (2002). La Teoría del Aprendizaje Significativo. En M. A. Moreira Ileana, M. Greca, & M. L. Rodríguez Palmero, *Modelos Mentales y Modelos Conceptuales en la ciencia y aprendizaje de las ciencias* (Vol. 2, págs. 7-45).

- Rodriguez Palmero, M. L., & Moreira, M. A. (2008). La Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud. En M. L. Rodriguez Palmero, *La teoría del aprendizaje significativo en la perspectiva de la Psicología Cognitiva* (págs. 88-132). Barcelona: Octaedro.
- Sabariego del Castillo, J. M., & Manzanares Gavilán, M. (2006). Afabetización Científica. *I Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*, (pág. 3). México, D.F.
- Secretaría de Educación Pública. (2011). Acuerdo número 592 por el que se establece la Articulación de la Educación Básica. México, México.
- Tamayo Alzate, O. E. (2006). Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. *Revista Educación y Pedagogía*, 18(45).
- The College Board. (2008). *AP Physics .Multiple Representations of Knowledge: Mechanics and Energy*. The College Board.
- Tippens, P. (1988). *Física; Conceptos y Aplicaciones*. México: Mc. Graw Hill.
- Torregrosa Gironés, G., & Quesada Vilella, H. y. (2010). Razonamiento Configural como coordinación de procesos de visualización. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 327-340.
- Trápaga, F. (Marzo de 1997). ¡Escuela e imagen hoy! *Comunicar*(8), 49-56.
- Vázquez-Alonso, Á., Acevedo-Díaz, J. A., & Manassero Mas, M. (2005). Más allá de la enseñanza de las ciencias para científicos: hacia una educación científica humanística. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(2).
- Vergnaud, G. (1990). Teoría de los Campos Conceptuales. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(2,3), 133-170.
- Vergnaud, G. (2006). Actividad y conocimiento operatorio. En C. Coll, *Psicología genética y aprendizajes escolares; recopilación de textos* (págs. 91-104). Madrid: Siglo XXI eds.
- Vergnaud, G. (2007). ¿En qué sentido la teoría de los campos conceptuales puede ayudar o no para facilitar aprendizaje significativo? *Investigações em Ensino de Ciências*, 12(2), 285-302.
- Vosniadou, S., & Ioannides, C. (s.f.). From conceptual development to science education: a psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1213-1230.
- Wilson, D., & Sperber, D. (2004). La Teoría de la Relevancia. *Revista de Investigación Lingüística*, 237-286.
- Wittmann, M. (2002). The object coordination class applied to wave pulses: analysing student reasoning in wave physics. *International Journal of Science Education*, 24(1), 97-118.

Zamora Águila, F. (2007). *Filosofía de la imagen; Lenguaje, imagen y representación*. México: Escuela Nacional de Artes Plásticas, UNAM.

---