

PROPUESTA DIDÁCTICA EN FÍSICA: EL CONCEPTO DE FLUJO ELÉCTRICO

DIDACTICAL PROPOSAL IN PHYSICS: THE CONCEPT
OF ELECTRICAL FLOW

EDUARDO ENRIQUE ALOMÁ CHÁVEZ*

ealoma@usb.ve

ISABEL MARÍA MARTINS VIEIRA**

isabelmartins@cantv.net

Universidad Simón Bolívar.

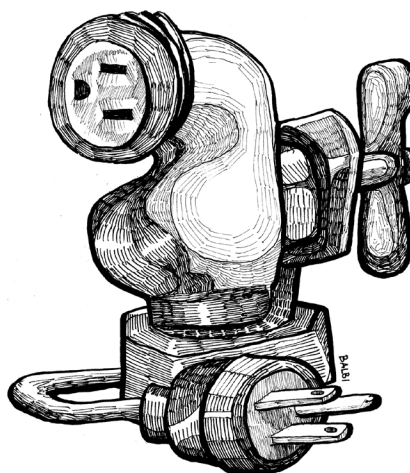
Valle de Sartenejas, edo. Miranda.

Venezuela.

Fecha de recepción: 17 de enero de 2008

Fecha de revisión: 9 de abril de 2008

Fecha de aceptación: 5 de junio de 2008



Resumen

En este artículo se propone una secuencia didáctica a partir del estudio de las pre-concepciones que tienen los estudiantes de ciencias e ingeniería acerca del concepto de flujo eléctrico. Dicha propuesta se realizó a partir de los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica de textos universitarios de física, utilizando técnicas de análisis de contenido, así como también mediante la aplicación de un instrumento de concepciones alternativas a 50 estudiantes de ingeniería. Los resultados arrojaron que los textos no poseen un lenguaje aclaratorio de la polisemia del término flujo; y una parte significativa de la muestra asocia flujo eléctrico con movimiento y no con líneas de fuerza. Tales resultados podrían generar posibles concepciones erróneas del término flujo en electromagnetismo. Esta propuesta deberá ser validada en futuras investigaciones.

Palabras clave: pre-concepciones, flujo, polisemia, lenguaje aclaratorio, secuencia didáctica.

Abstract

In this article, a didactical sequence is proposed from the study of the pre-conceptions science and engineering students have about the concept of electrical flow. Such proposal was made from the results obtained from the bibliographical revision of university texts in physics, using content analysis techniques, as well as the application of an instrument of alternative conceptions to 50 engineering students. The results showed that the texts do not have a clear language on the polisemy of the term flow; and a significant part of the sample associates electrical flow with movement and not with force lines. Such results could generate possible wrong conceptions of the term flow in electromagnetism. This proposal should be validated in future research.

Key words: pre-conceptions, flow, polisemy, clear language, didactical sequence.



1. Marco teórico

1.1 El concepto de flujo en electromagnetismo



n electromagnetismo el término *flujo* es comúnmente empleado para estudiar el *flujo eléctrico* y *flujo magnético*, conceptos de los cuales se derivan aplicaciones de mucha importancia en ingeniería.

Desde el punto de vista histórico, aunque la relación entre *flujo* y la electricidad nace con las ideas de Michael Faraday (1791-1867), desde mucho tiempo antes se sabía que existía un “algo” alrededor de las cargas eléctricas y de los imanes; incluso el comportamiento de la luz se había acomodado conceptualmente como partículas individuales que *fluyen* por algún medio que era conocido como éter. Sin embargo, los hallazgos de Faraday (con conductores en movimiento, imanes y similares) le llevaron a creer que los campos eléctricos y magnéticos son “sustancia” física *real* y, además, que los campos eléctricos y magnéticos variables podrían a veces ser capaces de “empujarse” en el espacio vacío, produciendo un tipo de onda incorpórea (Penrose, 1989). Estos hallazgos introdujeron en la física la idea de “campo de fuerzas” o simplemente “campo”, ya fuese de interacciones eléctricas, magnéticas o gravitatorias.

Posteriormente, el físico y matemático escocés James Clerk Maxwell (1831-1879) formalizó matemáticamente las ideas de Faraday y demostró que los campos eléctricos y magnéticos están por lo general “anclados”, adheridos en los cuerpos magnetizados y cargados de electricidad, pero pueden existir y propagarse por el espacio en forma de ondas electromagnéticas y que estas ondas se presentan de forma oscilante (Gamow, 1960). Entre 1855 y 1856, Maxwell publicó, en dos partes, su primer trabajo sobre electromagnetismo. El artículo, publicado en las Actas de

la Sociedad Filosófica de Cambridge, es un extenso ensayo físico-matemático en cuya primera parte se plantea una analogía entre líneas de flujo en hidrodinámica y las líneas de fuerza de Faraday en electromagnetismo (Ladera, 1994). Gracias a esta analogía utilizada por Maxwell, así como a los aportes de Faraday, el término flujo adquiere, en electromagnetismo, un nuevo significado: líneas imaginarias que representan un campo en el espacio.

1.2 Significados de flujo

Para entender el problema que nos ocupa en esta investigación, es importante, en primer lugar, diferenciar dos conceptos: palabra y término. En cuanto al primero, Bello (1997) señala que es un signo que representa por sí solo alguna idea o pensamiento, y que combinándose, ya con unos, ya con otros signos de la misma especie, contribuye a expresar diferentes conceptos. En cuanto al segundo, de acuerdo con Lerat (1997), el término es un símbolo, un estímulo físico que representa convencionalmente una noción o un objeto individual. La convención se aprende en el contexto del oficio o de la profesión. En definitiva, cuando hablamos de *flujo* estamos en presencia de un significante con dos tipos de significados: unos referidos como entradas en el diccionario general de la lengua castellana, y otros que se circunscriben al ámbito especializado de la física.

De acuerdo con lo señalado, tenemos que la palabra *flujo*, según el *Diccionario de la lengua española* de la RAE (2001) tiene tres significados: “*Flujo* (Del lat. *fluxus*) 1. m. Acción y efecto de fluir. 2. m. Movimiento de ascenso de la marea. 3. m. Quím. fundente (sustancia que facilita la fusión).” Y como palabra relacionada, encontramos: “*Fluir* n. (del lat. *fluere*). Correr líquidos”. Asimismo, en el *Diccionario panhispánico de dudas* (2005) se registra como entrada la palabra *fluir* de la siguiente forma: “1. Dicho de un líquido o gas, “correr o deslizarse” (...). 2. El adjetivo correspondiente es “fluyente” (“que fluye”) (...). Igualmente correcta, aunque mucho menos frecuente en el uso, es la variante *fluente* más cercana al participio de presente latino (*fluens, -entis*).” Cabe destacar que estos significados asociados a movimiento se mantienen no sólo en el lenguaje cotidiano sino también en áreas específicas de la física, como en el caso de la mecánica de fluidos.

Ahora bien, el término *flujo* en el caso del electromagnetismo, para campos electrostáticos donde no hay movimiento alguno, está asociado a “líneas de fuerza” y no a movimiento. De hecho, el flujo de un campo electrostático puede estar presente sin que dicho campo “se mueva”. Esta derivación del término “flujo” hacia el modelo de “líneas de fuerza” donde la propiedad “movimiento” queda excluida, es causa frecuente de confusión en los estudiantes de los cursos básicos de física eléctrica. Aunque lo común es que en cada área del conocimiento el término técnico tienda a ser monosémico o monorreferencial para

evitar ambigüedad en la comunicación (Lerat, 1997), en el caso del término *flujo* hubo un cambio de significado en un área particular de la física sin que se generase un nuevo significante, por lo que es importante en el contexto de la enseñanza del concepto de flujo vinculado a campo eléctrico y campo electromagnético tomar en cuenta la semántica tanto de la palabra como del término.

1.3 Metáforas conceptuales

La metáfora es el mecanismo estructurado de apareamiento entre dos dominios conceptuales diferentes en el sistema conceptual del individuo. Brookes y Etkina, (2007) identifican tres tipos de modelos metafóricos:

1. Modelos analógicos corrientes: Por ejemplo, Schrodinger basó su ecuación de ondas con una analogía de ondas en óptica. El correspondiente sistema metafórico en este caso es el electrón visto como una onda y es así como se habla de "interferencia de electrones" o "difracción de electrones".
2. Modelos analógicos difuntos: Es el caso en física en que viejos modelos, cuyas limitaciones han sido expuestas y suplantadas por modelos mejores, aún viven en el lenguaje de la física. La teoría del calórico del calor aún se refleja en expresiones tales como "el calor fluye" y muchos físicos utilizan esa metáfora.
3. Analogías descriptivas. En este caso se utilizan elementos cotidianos como sistema metafórico. Por ejemplo, comparar la gráfica de la energía potencial con valles y pozos: las gráficas de energía potencial son como pozos de agua. También es común utilizar este tipo de metáforas para describir el comportamiento ondulatorio: si es sinusoidal, la parte superior de la gráfica se le llama "cresta" y la inferior "valle".

2. Planteamiento del problema

Nuestro problema general se enmarca en el uso del lenguaje y sus implicaciones en la enseñanza de la física. Como señala Ausubel (1973), para que los nuevos contenidos puedan ser significativamente aprendidos y retenidos, es necesario que se hallen disponibles en la estructura cognoscitiva, conocimientos o conceptos más inclusivos y relevantes que proporcionen un "anclaje conceptual" a las nuevas ideas. Estos son los "inclusores" o bien "subsunoadores" que mediante el proceso de acreción determinan la adquisición de nuevos significados y su retención.

Muchos docentes utilizan como subsunoadores situaciones comunes relevantes o conocidas por los estudiantes para lograr dicho anclaje, muchas veces en forma de metáfora conceptual sin sacrificar el contenido científico. Desde la lingüística cognitiva se sostiene que las representaciones mentales son fundamentalmente metafóricas

y que éstas se comunican a través del lenguaje. En el caso del flujo eléctrico es común la utilización de analogías descriptivas, siendo el sistema metafórico el movimiento de fluidos; sin embargo, cabe destacar que existen limitaciones en cuanto al uso de la analogía como estrategia explicativa en el ámbito de la enseñanza. En particular, al hacer la analogía de flujo eléctrico con las líneas de flujo de fluidos, se corre el riesgo de transferir la propiedad movimiento que tienen los fluidos a los campos electrostáticos, generando posibles concepciones erróneas y conflictos cognitivos. A partir de este problema, desarrollamos en este trabajo una propuesta de secuencia didáctica que permita, a partir de las concepciones espontáneas de los estudiantes, un cambio conceptual del término flujo hacia su significado en electromagnetismo.

3. Antecedentes de la investigación

Desde hace algunos años la investigación en el área de propuestas instruccionales ha tenido un significativo avance. Como antecedentes de esta investigación tenemos a Bullejos de la Higuera (1983) quien examinó las características de los textos, como la legibilidad, y los contenidos o actividades que se suponen tienen influencia en la calidad del texto como instrumento de enseñanza y aprendizaje. Por su parte, Williams y Yore (1985) analizaron la legibilidad de los textos, y Wandersee (1988) la forma en cómo los alumnos extraen significados de ellos. Posteriormente, Cudmani y Fontdevila (1991) elaboraron una propuesta instruccional superadora centrada en el concepto de coherencia luminosa. Asimismo, Moreira, Silveira y Axt (1991) desarrollaron tres instrumentos de fácil utilización e interpretación para estudiar concepciones alternativas en los estudiantes. Mediante el uso de indicadores identificados en estudios con entrevistas clínicas, estos autores validaron tales instrumentos. Por último, Dominguez-Castiñeiras, De Pro Bueno y García-Rodeja (1998) estudiaron las concepciones alternativas de los estudiantes relacionadas con los conceptos de calor y temperatura, y encontraron que persiste la influencia del lenguaje cotidiano en la utilización y verbalización de gran parte de las ideas y razonamientos.

4. Hipótesis de trabajo

La hipótesis propuesta es la siguiente:

Como ya se mencionó, Maxwell utilizó la analogía de líneas de flujo de hidrodinámica para explicar el flujo en electromagnetismo. Sin embargo, como las líneas son consecuencia del movimiento de un fluido, entonces es probable que los estudiantes asocien el flujo eléctrico con movimiento. La representación de "líneas que entran" y "líneas que salen" que frecuentemente aparecen en textos de física puede reforzar esta situación.



5. Metodología

5.1 Perspectiva teórica

Nuestro trabajo se ubicó en la modalidad de investigación-acción como metodología que supone entender la enseñanza como un proceso de investigación o un proceso de continua búsqueda. Más específicamente, esta metodología está orientada hacia el cambio educativo y se caracteriza, entre otras cuestiones, por ser un proceso que (i) se construye desde y para la práctica, (ii) pretende mejorar la práctica a través de su transformación, al mismo tiempo que procura comprenderla, (iii) demanda la participación de los sujetos en la mejora de sus propias prácticas, (iv) exige una actuación grupal por la que los sujetos implicados colaboran coordinadamente en todas las fases del proceso de investigación, (v) implica la realización de análisis crítico de las situaciones y (vi) se configura como una espiral de ciclos de planificación, acción, observación y reflexión (Kemmis y MacTaggart, 1988, citados por Bau-sela, s.f.).

5.2 Fases de la investigación

En la primera fase de la investigación se realizó una revisión bibliográfica utilizando algunas técnicas de análisis de contenido, siguiendo las siguientes etapas (Ander-Egg, 1980):

- Establecer unidades de análisis, que no es más que el fragmento que se toma como elemento para la investigación, específicamente unidades de contexto.
- Determinar las categorías de análisis de las que dependen la clasificación y la selección de la información buscada.
- Seleccionar la muestra del material a ser analizado.

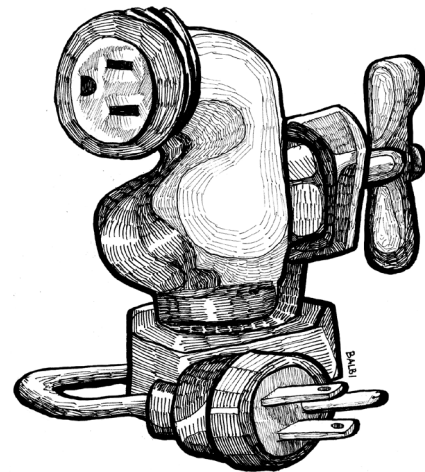
Como unidades de contexto se tomaron fragmentos de párrafos que aparecen en los textos que están asociados al concepto de flujo eléctrico. Las categorías de análisis fueron: definición cualitativa, uso de analogías con fluidos, definición formal y definición operacional, respectivamente.

La muestra consistió en cuatro libros de texto de Física general de nivel universitario que se utilizan en los cursos básicos de las carreras de ciencias e ingeniería en la educación superior venezolana y fue seleccionada considerando los siguientes aspectos: (Alomá y Malaver, 2007):

- Adecuación al programa oficial de Física que cursan los estudiantes de ciencias, ingeniería y afines.
- Demanda de los alumnos y docentes.
- Disponibilidad de los textos.
- Que fueran libros de texto, no problemarios de Física.

Los autores de los textos estudiados son: Halliday-Resnick, Serway, Sears-Zemansky y Tipler.

En la segunda fase, se aplicó un instrumento diagnóstico de concepciones alternativas en el área del electromagnetismo. Se tomó como muestra un grupo de 50 estudiantes avanzados de Ingeniería que están cursando la asignatura de campos y ondas electromagnéticas y que han aprobado todos los cursos de cálculo y de física general tanto de mecánica como de electromagnetismo. Según Moreira, Silveria y Axt (1991), lo que el profesor necesita para detectar rápidamente concepciones alternativas que tengan sus alumnos son instrumentos con validez, fidedignos y de fácil utilización e interpretación. En tal sentido, nos propusimos elaborar un cuestionario ad-hoc que se adaptara a tales criterios, tomando como referencia el cuestionario de concepciones alternativas desarrollado por Moreira, Silveria y Axt, (1991) para adaptarlo a nuestro trabajo. Este cuestionario ha sido validado en constructo y los coeficientes de fidedignidad son ampliamente satisfactorios (Silverio, Moreira y Axt, 1989). Nuestro instrumento posee 10 ítems; cada uno de ellos con tres alternativas de selección simple identificadas por las letras a, b y c; dichas alternativas se categorizaron de la siguiente manera: una alternativa referida al flujo como movimiento; una segunda alternativa como líneas; y una tercera donde el flujo está asociado con otra concepción alternativa. Tales opciones aparecen de forma aleatoria por cada ítem del cuestionario y en la tabla de resultados las categorizaciones se identifican como M, L, A y NC referidas a movimiento, líneas, concepción alternativa y no contestó, respectivamente. La consistencia interna fue sometida a juicio de un experto, quien nos suministró las recomendaciones pertinentes.



6. Análisis de resultados

6.1 Análisis de los resultados de la revisión bibliográfica

En la tabla I se muestra el concepto de flujo eléctrico desglosado en las cuatro categorías y los cuatro textos que se tomaron como muestra.

Tabla I. CONCEPTO DE FLUJO ELÉCTRICO EN TEXTOS DE FÍSICA UNIVERSITARIA

AUTOR	DEFINICIÓN CUALITATIVA	USO DE ANALOGÍAS CON FLUIDOS	DEFINICIÓN FORMAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL
Halliday-Resnick (1984)	<p>El flujo es una propiedad de los campos vectoriales. La palabra flujo proviene de la palabra latina fluere (que fluye) (p. 51)</p> <p>En una superficie cerrada, el flujo es cero, y lo justificamos notando que la cantidad de fluido que entra en la porción izquierda de la superficie por unidad de tiempo es igual a la que sale por la porción derecha por unidad de tiempo. (p. 52)</p>	<p>La fig. 28-1 muestra un campo uniforme estacionario de un flujo fluido (por ejemplo, de agua) caracterizado por un vector de flujo v, constante, que representa la velocidad constante del fluido en cualquier punto dado. (p. 52)</p> <p>Después de estos preliminares, ya podemos considerar al flujo ϕ_v a ϕ_e del campo eléctrico. Parecería que en este caso no hay nada que fluya. Sin embargo, en la eq. $\Phi = \rho v \cdot A$ tampoco interviene formalmente flujo alguno, sino el vector de campo v (que en ese caso es constante). Si se cambia v por E y se consideran a las líneas de corriente como líneas de fuerza, todo lo que se ha mencionado en esta sección sigue siendo cierto. (p. 52)</p>	<p>La definición exacta del flujo eléctrico es el límite diferencial de la Ec.</p> $\phi_E \cong \sum \vec{E} \cdot \Delta \vec{S}$ <p>(p.53)</p>	$\Phi_{neto} = \oint \vec{E} \cdot \hat{n} dA$ <p>(p. 54)</p>
Serway (1999)	<p>El flujo eléctrico se representa por medio del número de líneas de campo eléctrico que penetran algunas superficies. Cuando la superficie que se está penetrando encierra alguna carga neta, el número neto de líneas que atraviesan la superficie es proporcional a la carga neta dentro de la superficie. El número de líneas contadas es independiente de la superficie que encierra la carga. (p. 685)</p>	----	<p>El producto de la intensidad de campo eléctrico E y el área de la superficie A perpendicular al campo recibe el nombre de flujo eléctrico.(p. 686)</p>	$\Phi_E = \int_{SUPERFICIE} E \cdot dA$ <p>(p. 687)</p>
Sears-Zemansky (2005)	<p>Con base en la analogía entre el campo eléctrico y el flujo de fluidos, definamos ahora el flujo eléctrico del mismo modo que hemos definido la relación de flujo volumétrico de un fluido: simplemente sustituimos la velocidad del fluido \vec{v} por el campo eléctrico \vec{E}. (p. 841)</p>	<p>En la sección anterior mencionamos la analogía entre los vectores de campo eléctrico y los vectores de velocidad de un fluido en movimiento. Esta analogía puede ser útil, pese a que un campo eléctrico no "fluye" en realidad.(p. 840)</p>	<p>Considérese en primer término un área plana A perpendicular a un campo eléctrico uniforme E. Se define el flujo eléctrico a través de esta área como el producto de la magnitud del campo E por el área A.(p. 841)</p>	$\Phi_E = \int E \cdot dA$ <p>(p.842)</p>
Tipler (1983)	<p>El número de líneas que salen de la carga positiva y cruzan la superficie, saliendo del recinto limitado por ésta, depende de donde se dibuje la superficie, pero el número es exactamente igual al número de líneas que entran en el mismo recinto y terminan en la carga negativa. Si contamos el número que sale como positivo y el número que entra como negativo, el número neto que sale (o entra) es 0. (p. 803)</p>	----	<p>El producto de la intensidad del campo eléctrico por el área de una superficie perpendicular al campo se denomina flujo Φ del campo a través de la superficie.(p. 803)</p>	$\phi_{neto} = \oint \vec{E} \cdot \hat{n} dA$ <p>(p. 804)</p>



En todos los textos estudiados aparece la definición operacional clásica de flujo, como la integral de superficie del campo eléctrico multiplicado por el diferencial de área. Sin embargo, en general, los textos no muestran una definición cualitativa lo suficientemente clara del término flujo y de flujo eléctrico. Dos de los cuatro textos estudiados (50%) utilizan la analogía con flujo de fluidos, pero sin establecer las diferencias entre el flujo visto como movimiento de partículas y el flujo visto como líneas de fuerza. Esto deja abierta la posibilidad de que el estudiante asocie ambos significados del término flujo para una misma situación particular del electromagnetismo, como en el caso de que un campo electrostático se represente mediante líneas de fuerza pero que también se “mueva”.

Halliday-Resnick

Estos autores hacen una breve referencia etimológica de la palabra flujo; plantean un ejemplo de cuatro superficies hipotéticas inmersas en un campo de flujo uniforme y estacionario de un fluido incompresible (por ejemplo, de agua) caracterizado por un campo de velocidades y luego, por comparación directa, define al flujo eléctrico sustituyendo el campo de velocidades por el campo eléctrico, pero no hay las correspondientes aclaratorias referidas a los distintos campos conceptuales abordados. Además, el hecho de plantear un “flujo estacionario caracterizado por un campo de velocidades” requiere de una aclaratoria de contexto, para así no generar conflicto entre los términos “estacionario”, asociado a reposo y “velocidad” asociado a movimiento.

Serway

Este autor define el flujo eléctrico como líneas de campo que atraviesan una superficie. No hay aclaratorias previas en cuanto al significado de la palabra flujo y hace uso de la representación “líneas que *entran* a una superficie”, siendo el término “*entran*” sugerente de movimiento.

Sears- Zemansky

Estos autores hacen uso de la analogía movimiento de fluidos para definir el flujo eléctrico. En particular plantean un ejemplo de flujo volumétrico de un fluido a través de un rectángulo, especificando que el flujo por el rectángulo depende de la posición relativa de éste en relación con la velocidad del fluido. Posteriormente abordan el flujo eléctrico sustituyendo la velocidad por el campo eléctrico y aclaran que el campo eléctrico no fluye en realidad. Este lenguaje aclaratorio puede resultar ambiguo pues no especifica el concepto de flujo, o si está o no relacionado con movimiento.

Tipler

Este autor define el flujo eléctrico como el número de líneas que entran o que salen de una superficie, especificando además que si el número de líneas que entran es

igual al número de líneas que salen, entonces el flujo neto por esta superficie es nulo; sin embargo, no hay un lenguaje aclaratorio que especifique si el flujo está o no asociado a movimiento, y además, el planteamiento de “*entran*” o “*salen*” sugiere movimiento.

6.2 Análisis de los resultados del cuestionario de concepciones alternativas

En la tabla II se recogen los resultados del cuestionario. La letra que aparece al lado del resultado identifica el tipo de representación elegido, siendo L para líneas, M para movimiento y A para concepción alternativa. Las respuestas correctas son las del modelo de líneas.

Tabla II. RESULTADOS DEL CUESTIONARIO DE CONCEPCIONES ALTERNATIVAS

opción ítem	a	%	B	%	c	%	NC	%
1	24 L	48	16 M	32	9 A	18	1	2
2	20 L	40	26 M	52	4 A	8	0	0
3	7 M	14	14 A	28	29 L	58	0	0
4	20 L	40	14 M	28	14 A	28	2	4
5	9 A	18	24 M	48	17 L	34	0	0
6	8 A	16	33 L	66	9 M	18	0	0
7	20 A	40	6 L	12	24 M	48	0	0
8	26 L	52	9 A	18	14 M	28	1	2
9	14 M	28	26 L	52	9 A	18	1	2
10	21 M	42	10 A	20	18 L	36	1	2

En el ítem N° 1, se puede observar que aunque la mayoría de la muestra asocia el flujo con el modelo de líneas (48%), una cantidad importante relaciona flujo eléctrico como un movimiento del campo eléctrico. Un 18% vinculó flujo con movimiento de cargas eléctricas. En el ítem N° 2 se plantea una situación similar al ítem 1 pero referida a fluidos. Se observa que la mayoría (52%) asoció flujo neto con movimiento y no con la cantidad de líneas que atraviesan las superficies. Este resultado sugiere que los estudiantes relacionan flujo con movimiento cuando se trata de fluidos, sin tomar en cuenta la cantidad de líneas que atraviesan las superficies A y B. En el ítem N° 3 la mayoría de la muestra eligió la opción correcta, la asociada al modelo de líneas. En este ítem se plantea un flujo eléctrico como líneas, sin flechas, para no sugerir la idea de movimiento u orientación. Los resultados obtenidos pueden indicar que al omitir elementos como flechas o vectores los estudiantes logran vincular flujo eléctrico con líneas. En el ítem N° 4 se observa que 20 estudiantes (40%) asociaron flujo eléctrico con líneas de fuerza, pero el 56% vinculó el flujo con movimiento o eligió la concepción alternativa de la no existencia de flujo. Es decir, la mayoría no acertó en la respuesta. Este resultado podría sugerir falta de claridad del concepto. En el ítem N° 5 se observó que el 48% de la muestra asocia el término *flujo* con movimiento, y un

porcentaje menor (18%) lo asocia a líneas. Con este resultado se pone de manifiesto la relación flujo-movimiento que poseen los estudiantes. En el ítem N° 6 se plantea una situación similar al ítem N° 4, con la diferencia de que en este caso se introduce el concepto de flujo neto en una de las opciones. Los resultados indican que la mayoría de los estudiantes asociaron al flujo neto como líneas que entran y salen de la superficie, y sólo algunos (18%) lo asociaron con movimiento. En el ítem N° 7 el 48% seleccionó la opción c. Aunque las opciones b y c están referidas a líneas, la c tiene el atributo de movimiento, lo cual pensamos pudo influir en la elección de esta opción. Es interesante destacar que una buena parte de la muestra relacionó el flujo con ocupación de espacio (40%). En el ítem N° 8 se plantea una situación relacionada con el flujo neto y se observa que la mayoría de la muestra contestó correctamente, asociando flujo con líneas. Esto nos lleva a plantearnos que los estudiantes relacionaron flujo neto nulo con “algo que se conserva” (en la opción b, el adjetivo “constante”), es decir, que no hubo aumento ni disminución de la cantidad de fluido. Sólo un 28% vinculó el flujo neto con movimiento. En el ítem N° 9, los estudiantes asociaron el flujo con el modelo de líneas en un 52 % de los casos, y el 28% lo asoció con movimiento. En el ítem 10, 42 % de los estudiantes definieron flujo eléctrico como el movimiento de un campo eléctrico, mientras que el 36 % lo definió como líneas de fuerza.

Cabe destacar el grado de variabilidad que arrojan algunos resultados. En el ítem N° 3, donde se presenta un flujo eléctrico, la mayoría de la muestra optó por la opción de líneas; sin embargo, en el Ítem N° 10 donde se le pregunta de forma directa qué es el flujo eléctrico, una parte significativa de la muestra optó por la alternativa de movimiento, observándose así poca coherencia entre ambas respuestas.

Una situación similar se presenta con los ítems 4 y 6. En el ítem 4 se plantea un flujo eléctrico radial. Un alto porcentaje de la muestra asoció este flujo con movimiento o con la concepción alternativa de ausencia de flujo. Asimismo, en el ítem 6 se plantea también un flujo eléctrico radial, pero la pregunta está referida al flujo que *atraviesa* a la superficie (a líneas que entran y líneas que salen), y la gran mayoría optó por el modelo de líneas. Esto parece indicar que los términos “entran” y “salen” no parecen reforzar la idea de flujo como movimiento.

En los ítems 1 y 2 se observa que un alto porcentaje de la muestra no asoció flujo neto con el número de líneas; aun cuando las situaciones que se plantean en ambos ítems sean de campo y fluido uniformes, respectivamente. Mientras que en los ítems 6 y 8, referidas también al flujo neto, la elección del modelo de líneas fue algo mayor comparado con los ítems 1 y 2. En aquellos ítems relacionados con flujo y flujo de fluidos (ítems N° 2, 5, 7 y 8) la

mayoría de la muestra tiende a asociarlo con movimiento, mientras que en los ítems relacionados con flujo eléctrico (ítems N° 1, 3, 4, 6, 9 y 10) la tendencia es a asociarlo con el modelo de líneas.

Es de notar que no hubo resultados absolutos o cuasi-absolutos en ningún ítem, es decir, ninguna de las opciones fue seleccionada por más de un 75% de la muestra. Esto nos lleva a corroborar que, aunque se trata de estudiantes avanzados, muchos de ellos no están seguros del significado que tiene el término *flujo* en este ámbito particular de la física.

7. Propuesta didáctica

A partir de los resultados obtenidos, tanto de la revisión bibliográfica como de la aplicación del instrumento, y tomando en cuenta, como señalan Bronkbank y Mc Gill (2002), que las instituciones de educación superior tienen por finalidad estimular el paso de lo simplemente transmisivo a lo transformador, elaboramos una secuencia didáctica. Esta propuesta parte de las necesidades de los estudiantes y focaliza su atención en una de las condiciones fundamentales del quehacer educativo: el diálogo, tanto entre profesor y alumno, como entre los propios estudiantes. En definitiva, el principio fundamental es que todos deben trabajar conjuntamente en la construcción del significado.

7.1 Justificación teórica

Como antecedente de este tipo de propuesta tenemos a Jhon Dewey (1916, citado por Bronkbank y Mc Gill, 2002) quien presentó un enfoque pragmático de la educación. El método Dewey alude a 4 elementos esenciales del aprendizaje: 1) la experiencia, 2) datos para la reflexión, 3) ideas y 4) fijación de lo aprendido. Cree que la experiencia es la fase inicial del pensamiento. Necesitamos una experiencia empírica que atraiga nuestro interés y genere la acción. Propone el aprendizaje reflexivo mediante la realización de proyectos reales y el abordaje de problemas y situaciones. Los aprendices podrán entonces hacer cosas y en el curso de esas acciones dialogar. Para este autor si el punto de partida es la experiencia personal y el contexto relevante, las ideas se derivarán de forma natural. La aplicación y comprobación de los pensamientos en situaciones reales tiene el efecto de fijar lo aprendido. Solo cuando una idea se ha puesto a prueba y se pone en práctica puede comenzar el proceso de reflexión (Dewey, 1919 citado por Bronkbank y Mc Gill, 2002).

Desde el punto de vista de los estudios lingüísticos aplicados a la enseñanza, Cassany (1999) señala que la ciencia es sobre todo una representación verbal de conocimientos. Es decir, aprender una determinada disciplina



científica significa adquirir su lenguaje específico (terminología, fraseología), sus géneros discursivos (ponencias en congresos, artículos en journals, manuales, textos de divulgación periodística) y los procesos cognitivos implicados en su producción y comprensión. Dicho de otro modo: aprender física significa poder hablar y escribir de física.

Por su parte, Carretero (2000); Pozo y Gómez, (2000) identifican tres procesos fundamentales en la construcción del conocimiento científico en el aula: la reestructuración teórica, la explicitación progresiva y la integración jerárquica. La reestructuración implica construir una nueva forma de organizar el conocimiento en un dominio que resulte incompatible con las estructuras anteriores. Ese cambio será necesario cuando la superación de las teorías alternativas en un dominio dado requiera adoptar nuevos supuestos epistemológicos, ontológicos y conceptuales (Cirigliano, 2003).

Siguiendo a Mortimer (2000), la propuesta didáctica que presentaremos parte de dos principios básicos: 1) el aprendizaje tiene lugar a través de la implicación activa del aprendiz en la construcción del conocimiento; 2) las ideas previas y alternativas de los estudiantes tienen un papel preponderante en el proceso de aprendizaje.

De acuerdo con lo expuesto, emplearemos la secuencia didáctica (SD en adelante) para la elaboración de la propuesta. La SD incluye un conjunto de actividades organizadas para llevar a cabo un proyecto. De hecho, proviene de la idea de proyecto como un plan de trabajo libre escogido con la finalidad de realizar una cosa que interesa (Camps, 1994).

Dichas actividades estarán enmarcadas en el enfoque metacognitivo de modo que el estudiante esté consciente y pueda confrontar sus propias ideas en la construcción del conocimiento. Como señala Chrobak (s.f.) por lo general, suelen ignorarse los factores epistemológicos que intervienen en la formación y desarrollo de las estructuras cognitivas de los estudiantes, dichos factores son primordiales cuando se trata de lograr un cambio en los alumnos, que vaya desde las concepciones espontáneas o alternativas, hacia las concepciones científicas.

7.2 Secuencia didáctica para la enseñanza del concepto de flujo eléctrico

Específicamente, para la planificación y presentación de la SD se hicieron adaptaciones de las propuestas metodológicas de autores expertos en didáctica de la lengua. Se utilizó el modelo de Cross y Vila (1999) que describe el proceso de elaboración de una secuencia partiendo de los principios de toda programación didáctica: 1) Definición de la tarea global a realizar (qué se hará); 2) Objetivos de aprendizaje (qué se aprenderá). 3) Actividades a reali-

zar (adaptadas del modelo de Santamaría, 1992), éstas se dividen en cuatro etapas: actuación, reflexión, análisis y generalización. 4) Momentos de la evaluación formativa 5) Evaluación final.

La SD se llevará a cabo durante dos sesiones consecutivas (de dos horas académicas) correspondientes al segundo curso de Física de las carreras de Ingeniería, cuyo contenido, tradicionalmente, aborda los temas de electricidad y magnetismo a nivel de física general. En este tipo de cursos generalmente se utiliza el cálculo diferencial e integral en una dimensión.

PRINCIPIOS DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA PARA EL ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE FLUJO ELÉCTRICO (adaptados de Cross y Vila, 2004)

TAREA GLOBAL	OBJETIVOS	EVALUACIÓN FORMATIVA
Los estudiantes diseñarán, construirán y presentarán un modelo que ilustre la noción de flujo eléctrico.	Formular un lenguaje aclaratorio para el caso de la analogía, establecida por Maxwell, entre flujo en mecánica de fluidos y flujo en electromagnetismo. Diferenciar el uso cotidiano del uso especializado de flujo mediante la diferenciación de la palabra (lenguaje cotidiano) del término (lenguaje especializado).	Evaluación de las tareas puntuales con la ayuda del profesor.

ACTIVIDADES DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE FLUJO ELÉCTRICO (adaptadas de Santamaría, 1992)

Etapas de realización [Sesión] (hora)	ACTIVIDADES A REALIZAR (adaptado de Santamaría, 1992)
I. ACTUACIÓN [1] (1)	Justificación del concepto de flujo eléctrico: para qué y por qué estudiar flujo eléctrico. Diagnóstico inicial sin ninguna instrucción previa mediante uso de estrategia de lluvia de ideas (ver Anexo 2). Negociación con los estudiantes de los objetivos y contenidos de la secuencia didáctica.
II. REFLEXIÓN [1] (2)	Análisis de materiales bibliográficos sobre flujo eléctrico. A partir de esta exploración completar cuadro comparativo (ver Anexo 3). Discusión en asamblea de los resultados de la exploración para confrontar el concepto de flujo relacionado con movimiento con el de flujo como líneas de fuerza.

ACTIVIDADES DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE FLUJO ELÉCTRICO (adaptadas de Santamaría, 1992)

Etapas de realización [Sesión] (hora) ACTIVIDADES A REALIZAR (adaptado de Santamaría, 1992)

III. ANÁLISIS [2] (1) Aplicación de los conceptos aprendidos para diseñar un modelo en donde se visualicen los diferentes significados de flujo. Presentación de modelos por parte de cada grupo de trabajo. El profesor moderará y dirigirá la discusión.

IV. GENERALIZACIÓN [2] (2) Consolidación de conceptos aprendidos:
 • Los estudiantes generarán conclusiones a partir de la etapa anterior.
 • El profesor sintetiza lo aprendido y guía a los estudiantes.
 • El profesor facilita la comprensión mediante la comparación y contrastación entre las preconcepciones iniciales sobre flujo y los significados revelados a lo largo de la secuencia, y ejemplificada mediante los modelos presentados.

8.- Conclusiones

El análisis de los resultados y el desarrollo de la propuesta de secuencia didáctica permitieron llegar a las siguientes conclusiones:

- Los textos analizados no poseen, desde el punto de vista conceptual, un lenguaje realmente aclaratorio del término flujo. En algunos casos se hace uso de analogías con el movimiento de fluidos pero no se especifica que un campo electrostático puede fluir sin que esto implique que se mueva. También se presentan aclaratorias ambiguas al hacer referencia a que los campos “no fluyen en realidad” y al utilizar la representación de líneas que “entran” y líneas que “salen”, sugerentes de movimiento.
- De los resultados del cuestionario de concepciones alternativas se concluye que la mayoría de los estudiantes no tienen claridad conceptual del flujo eléctrico. Lo relacionan en algunos casos con líneas y en otros con movimiento, sin que intervenga mucho el tipo de situación planteada, sea de fluidos o de campos. Aun cuando se trata de estudiantes avanzados de ingeniería, un número importante de la muestra asocia el flujo eléctrico con movimiento. Esto corrobora nuestra hipótesis N° 1, sin embargo los términos “entran” y “salen” no parecen reforzar la idea de movimiento.
- En la enseñanza de la Física es común que muchos docentes atribuyan el poco rendimiento de sus estudiantes a la falta de ejercitación de problemas matemáticos; sin embargo, pensamos que este escaso rendimiento está vinculado más a la poca comprensión de los conceptos, y ello se relaciona directamente con el lenguaje y la comu-

nicación. La discusión de ideas, el uso de analogías con sistemas metafóricos adecuados, acompañados de aclaratorias en el discurso docente-estudiante o en los textos, propicia la reflexión del concepto y constituye un fuerte eslabón hacia la construcción del conocimiento.

- Es común en la enseñanza de la ciencia que los estudiantes adquieran nuevos conocimientos sin ser críticos en cuanto al uso del lenguaje. Como hemos evidenciado en nuestra investigación, existen palabras (como en el caso de *flujo*) que comparten una porción de su significado con términos propios del lenguaje especializado. Esto pudiera convertirse en un obstáculo para el aprendizaje de nuevos conceptos. Por ello, es fundamental propiciar en las actividades de aula la reflexión metalingüística en torno al lenguaje común y al lenguaje científico. Se trata de generar aprendizajes sobre estos dos usos lingüísticos para establecer las diferencias en cuanto al empleo particular de palabras y de términos para así evitar que se generen falsas preconcepciones.
- La secuencia didáctica que presentamos está centrada en las necesidades del estudiante y en la planificación de actividades en función del aprendizaje del conocimiento científico. La idea fundamental es partir de su conocimiento previo y generar la participación activa de los estudiantes en la construcción del conocimiento científico. Como meta perseguimos la apropiación del lenguaje de la especialidad mediante la manipulación consciente, por parte de los estudiantes, de los términos propios de la ciencia para asegurar así la aplicación de nuevos conocimientos en la resolución de problemas de ingeniería. ©

* Licenciado en Educación Industrial, mención Electricidad. Magíster en Educación, mención Enseñanza de la Física. Profesor del Departamento de Formación General y Ciencias Básicas de la Universidad Simón Bolívar.

** Licenciada en Letras. Magíster en Didáctica de la Lengua y la Literatura. Especialización en Asesoramiento y consulta Educativa. Profesora del Departamento de lengua y Literatura de la Universidad Simón Bolívar.

Anexos

Anexo 1. PRUEBA DE CONCEPTOS ALTERNATIVOS

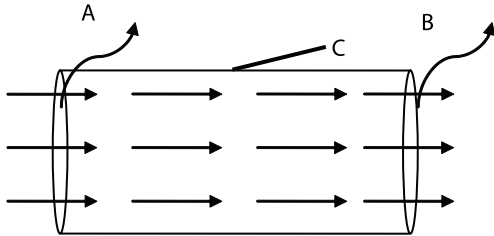
Importante: No escriba nada en las hojas de preguntas. Conteste solamente en esta hoja de respuestas

	a	b	c
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			



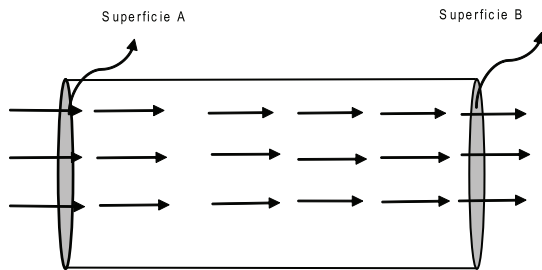
A continuación se presentan una serie de ítems alusivos al concepto de flujo. Este cuestionario forma parte de un trabajo de investigación y no tiene relación con la evaluación de la asignatura. Te pedimos que seas lo más espontáneo(a) posible y que elijas una sola opción. ¡Gracias!

1- Un campo eléctrico fluye por cierta región limitada por las superficies A, B y C. Podemos afirmar que:



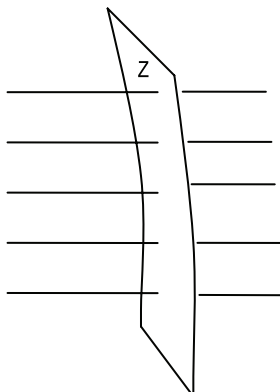
- a) El flujo neto entre A y B es nulo.
- b) El campo se mueve desde A hasta B
- c) Las líneas indican el movimiento de cargas eléctricas.

2- En la figura se muestra un campo de velocidad constante de un fluido que pasa por cierta región limitada por las superficies A y B. Podemos afirmar que:



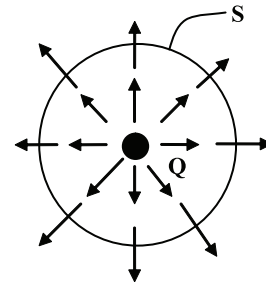
- a) El flujo neto es cero y el fluido se mueve desde A hasta B.
- b) El flujo neto es distinto de cero y el fluido se mueve desde A hasta B.
- c) El flujo neto es cero y el fluido no se mueve.

3- Las líneas de flujo eléctrico atraviesan una superficie Z tal como se muestra en la figura. Podemos decir que:



- a) El campo se mueve a través de la superficie Z
- b) El flujo neto en una de las caras de la superficie Z es cero
- c) Las líneas de flujo atraviesan a la superficie Z

4- Una carga puntual Q está en el centro de una superficie esférica S. Los vectores representan el campo eléctrico generado por dicha carga. Podemos afirmar que

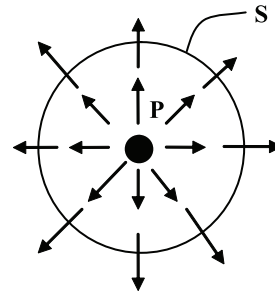


- a) Las líneas de flujo eléctrico atraviesan a la superficie S pero el campo no se mueve.
- b) El campo eléctrico se mueve a través de la superficie S
- c) No hay flujo de campo eléctrico.

5- El término flujo está asociado a:

- a) Sólo la presencia de un fluido, independientemente si se mueve o no.
- b) Al movimiento de un fluido.
- c) A un campo que atraviesa una superficie

6- El punto P representa una fuente de campo eléctrico. Si el número de líneas que entran a la superficie esférica S es igual al número de líneas que salen por la misma superficie S, entonces podemos afirmar que

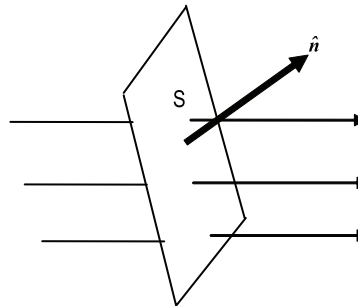


- a) Existe un flujo eléctrico que atraviesa a la superficie S.
- b) El flujo neto que atraviesa a la superficie S es cero.
- c) El campo se mueve desde P hasta la superficie S

7- Si cierta cantidad de un fluido fluye por una superficie, significa:

- a) Que el fluido ocupa cierto espacio limitado por la superficie.
- b) Que el fluido atraviesa la superficie.
- c) Que el fluido se mueve y atraviesa la superficie.

- 8- Si el flujo neto de un gas o fluido es nulo, significa que:
- La cantidad de gas o fluido que se mueve es constante.
 - Las líneas de flujo no atraviesan ninguna superficie.
 - No hay movimiento alguno del gas o fluido
- 9- En la figura, las flechas horizontales representan líneas de flujo eléctrico y \hat{n} el vector unitario normal a la superficie S. Podemos afirmar que:



- El campo se mueve parcialmente por la superficie.
 - El campo atraviesa parcialmente a la superficie.
 - El campo no fluye por la superficie.
- 10- El flujo de campo eléctrico es:
- El movimiento del campo eléctrico
 - Cierta cantidad de electricidad que está en movimiento
 - Líneas de fuerza que atraviesan una superficie.

Anexo 2. DIAGNÓSTICO

- Escribe con tus propias palabras lo que piensas acerca del término flujo.
- Señala algunas situaciones que estén relacionados con flujo.
- Señala algunas semejanzas y diferencias entre el flujo de un líquido y el flujo eléctrico.
- Escribe algún sinónimo de la palabra flujo.
- ¿Qué significa que un líquido fluya? Explica con tus propias palabras.
- ¿Qué significa que un campo eléctrico fluya? Explica con tus propias palabras.

Anexo 3. Cuadro comparativo sobre flujo eléctrico

	Halliday-Resnick	Serway	Sears-Zemansky	Tipler
¿Qué dice acerca de flujo?				
¿Qué es el flujo eléctrico?				
¿Qué ejemplos se utilizan?				
¿Qué comparaciones se realizan?				

Bibliografía

- Alomá, E. y Malaver, M. (2007). Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el teorema de Carnot en textos universitarios de termodinámica. *Revista Educere*, N° 38, pp. 477-487.
- Ander-egg, E. (1980). *Técnicas de investigación social*. Buenos Aires: El Cid Editor.
- Asociación de Academias de la Lengua Española y Real Academia Española. (2005). *Diccionario panhispánico de dudas*. Madrid: Santillana Ediciones Generales.
- Ausubel, D. (1973). Algunos aspectos psicológicos de la estructura del conocimiento. *Simpósio Phi Delta Kappa-Illinois*, 1963- Buenos Aires: Recop. Elam-Ed. El Ateneo.
- Bausela, E. (s.f.). La docencia a través de la investigación-acción. *Revista Iberoamericana de Educación*. Recuperado el 15-12-07 en www.rieoei.org/deloslectores/682Bausela.PDF
- Bello, Andrés. [1847] 1997. *Gramática de la lengua castellana*. Madrid: Edaf.
- Bronkbank, A. y Mc Gill, I. (2002, primera edición 1999). *Aprendizaje reflexivo en la Educación Superior*. Madrid: Morata.



- Brookes, D. y Etkina, E. (2007). Using conceptual metaphor and functional grammar to explore how language used in physics affects student learning. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 3, 010105.
- Bullejos De La Higuera, J. (1983). Análisis de actividades en textos de física y química de 2º de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), pp. 147-157.
- Camps, Anna. (1994). *L'ensenyament de la composició escrita*. Barcelona: Barcanova.
- Carretero, M. (2000). *Construir y enseñar las ciencias experimentales*. Argentina: Aique Grupo Editor. S.A.
- Cassany, D. (1999) Actitudes, valores y hábitos sobre lo escrito y la composición. La escritura como umbral de paradigma científico y democrático. Ponencia presentada en *4º Congreso colombiano y 5º latinoamericano de lectura y escritura*. Fundalectura.
- Cirigliano, Z. (2003). *De la física aristotélica a la mecánica newtoniana*. Tesis doctoral no publicada, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.
- Cross, A. y Vila, M. (1999). *Evaluación en el área de lengua*. Recuperado el 10-11-07 en <http://centros5.pntic.mec.es/cpr.de.ciudad.real/evaluaci/Evaluac.htm>
- Cudmani, L.C. de y Fontdevila P. (1991) A Organização de conteúdos no ensino aprendizagem do electromagnetismo. *Rev. Cat. Ens. Fis.* 6(3) pp. 196-210.
- Chrobak, R. (s.f.). *Metacognición y herramientas didácticas*. Recuperado el 10-01-08 en <http://www.unrc.edu.ar/publicar/cde/05/Chrobak.htm>
- Domínguez-Castiñeiras, J. M., De Pro Bueno, A. y García-Rodeja Fernández, E. (1998). Las partículas de la materia y su utilización en el campo conceptual de calor y temperatura: un estudio transversal. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), pp. 461-475.
- Gamow, G. (1960). *Biografía de la Física*. Madrid: Alianza Editorial.
- Ladera, C. (1994). *Maxwell, Einstein*. Caracas: Ediciones CENAMEC.
- Lerat, P. (1997,1995 primera edición en francés). *Las lenguas especializadas*. Barcelona: Ariel.
- Moreira, M.; Silveira, F. y Axt, R. (1991) Instrumentos para la detección de concepciones alternativas en Física. *Conferencia Iberoamericana sobre Educación en Física*. Editado por C.L. Ladera.
- Moreira, M., Silveira, F. y Axt, R. (1991). Um cuestionario sobre calor, temperatura e energía interna. *IX Simposium Nacional de Ensino de Física*.
- Mortimer, E. (2000). *Lenguaje y formación de conceptos en la enseñanza de las ciencias*. Madrid: A. Machado Libros, S.A.
- Penrose, R. (1989). *La nueva mente del emperador*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Pozo, J. y Gómez, M. (2000). *Aprender y enseñar ciencia*. (2da ed.) Madrid: Ediciones Morata.
- Real Academia de la Lengua Española. (2001). *Diccionario de la lengua española*. (vigésimo segunda edición). En <http://www.rae.es>
- Reddy, M. J. (1993) *Methaphor and Thought* (2da ed.). Cambridge, England: Cambridge University Press, pp.164-201.
- Sanger, M.J. y Greenbowe, T.J. (1999). An analysis of college chemistry textbooks and source of misconceptions and errors in electro-chemistry. *Journal of Chemical Education*, 78(6), pp. 853-860.
- Santamaría, J. (1992). Escribir textos argumentativos: una secuencia didáctica. *Revista Aula*, n. 2, mayo, pp. 33-40.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *Ens. J. Sci. Educ*, EEUU.
- Wandersee, J. H. (1988). Ways student read text. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(1), pp. 69-84.
- Williams, R.L. y Yore, L.D.(1985). Content formats gender and grade level differences in elementary student's ability to read science materials by the close procedure. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(1), pp. 81-88.