

DISEÑO DE UNA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

Jesús Pérez Ceballos,
Corina Varela Calvo
Angelo Galotti
Universidad de La Laguna

INTRODUCCIÓN

Se pretende en este artículo dar a conocer el nacimiento de una nueva línea de investigación en Didáctica de las Ciencias, reseñando que es lo que motiva su planteamiento, los principales factores que se han tenido en cuenta para su diseño, los objetivos que se pretenden cubrir con esta línea y los aspectos generales de la metodología a utilizar en sus diversas fases. Así mismo proporcionamos información sobre su incipiente estado de desarrollo y sobre los recursos humanos y materiales con que contamos en la actualidad. Por tanto, solo tratamos de dar una visión general de la línea, sin entrar en el detalle ni justificación pormenorizada de los diversos aspectos que la integran, que por una parte desbordarían los límites del presente artículo y por otra serán objeto de próximos trabajos.

Su desarrollo se concibe en un dilatado periodo de tiempo y con la participación de numerosos grupos de investigadores, por lo que no está ligada a un proyecto concreto de un particular equipo de investigación. Es una propuesta ilusionada y abierta a la comunidad científica, que con su interés y dedicación pueden hacerla realidad.

MOTIVACIÓN PARA UNA NUEVA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Entre otras causas, la naturaleza eminentemente aplicada de la Didáctica de las Ciencias Experimentales y la procedencia de los investigadores en dicha Área marcan decisivamente los actuales trabajos de investigación.

Un considerable número de trabajos de investigación va dirigido a tratar de resolver la enseñanza-aprendizaje de algún tema concreto de una ciencia en particular

que se imparte en un curso o nivel determinado, como por ejemplo lo presentan Glenn (1990) o Furió y Guisasaola (1998), de un curso completo de esa ciencia, como en el trabajo de Gil y Solbes (1993), e incluso de la ciencia impartida en todo un ciclo educativo, como el publicado por García Barros y otros (1997). Ello obliga casi siempre a tener que manejar demasiadas y complejas variables, con frecuencia difíciles o imposibles de controlar, como resultado de querer dar respuesta global a un todo del que poco se conocen sus partes. Suelen concluir en propuestas metodológicas, en general supeditadas al enfoque dominante en el respectivo Sistema Educativo, que si bien resultan de suma importancia desde el punto de vista de la innovación educativa, no lo son tanto desde la perspectiva del conocimiento fundamental de los procesos de enseñanza-aprendizaje en ciencias.

Este tipo de trabajos es abundante puesto que responden bien a las necesidades concretas e inmediatas de los responsables de los Sistemas Educativos en los distintos países y comunidades, puestas de manifiesto en las convocatorias de financiación. Los casi ininterrumpidos cambios en dichos Sistemas mantienen constante su demanda.

Por otra parte, los investigadores en el Área de Didáctica de las Ciencias proceden o incluso continúan ejerciendo la docencia de alguna ciencia. Ello, pese a su indudable interés, conforma una cierta visión, condicionada por su profesionalidad y las características de su formación, de los posibles objetivos de investigación a abordar.

Esto mismo se pone de manifiesto por parte de los profesores-lectores de las Revistas del Área en la demanda de artículos a publicar en ellas. Consecuente y análogamente, abundan los trabajos sobre contenidos curriculares puntuales para la enseñanza de una ciencia, como puede constatarse consultando los índices de reconocidas revistas tales como el *Journal of Chemical Education* o *The Physics Teacher*, y sobre prácticas de campo y laboratorio, al estilo de los realizados por Caamaño (1992) o Lillo (1994), y como también se puede constatar en el de Barberá y Valdés (1996).

Todos estos planteamientos son necesarios y útiles, pero no cubren aspectos básicos para el desarrollo de la Didáctica de las Ciencias. Tal vez los que nos dedicamos exclusivamente al Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales deberíamos dedicar nuestro mayor esfuerzo a aquellas líneas de investigación, inequívocas de nuestra Área, que tengan objetivos básicos e imprescindibles para poder sustentar rigurosamente las otras líneas comentadas, dado que no van a ser acometidas por los profesionales de otras Áreas. Estos argumentos conforman esencialmente la motivación de la línea objeto del presente artículo.

FACTORES RELEVANTES PARA EL DISEÑO

Durante una larga etapa de maduración de ideas se han examinado factores que a nuestro juicio condicionan la viabilidad para el desarrollo y la implementación de una nueva línea de investigación; unos afectan al ámbito local desde donde parte la propuesta y otros a las características generales de la propia línea. Los principales factores que hemos tenido en cuenta en la toma de decisiones para establecer el diseño han sido:

- Los limitados recursos humanos, materiales y financieros del Area de Conocimiento en esta Universidad, y su posible evolución futura.
- La previsible población (alumnado del Tercer Ciclo, Profesorado de niveles no universitarios,...) interesada en abordar una investigación en Didáctica de las Ciencias, considerando aspectos tales como diversidad de su preparación académica, situación personal y profesional, motivación e intereses.
- La calidad y cantidad de la aportación que, en dicha situación, se puede hacer a la comunidad científica y docente.
- La adaptabilidad a diversos intereses investigadores: ciencias concretas, temas, niveles educativos, desarrollo temporal, etc.
- La concreción y estrechez del campo a investigar, unido a la profundidad y riqueza de dicho campo, que garanticen la continuidad de la línea investigadora a largo plazo.
- La rápida y fructífera producción de resultados publicables.
- La facilidad de ser aplicada y de interesar a otros investigadores.

Una vez finalizado el diseño se ha verificado que la línea concebida da respuesta positiva y suficiente a cada uno de ellos.

OBJETIVOS DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Se pretende iniciar una nueva línea de investigación, en el Area de Didáctica de las Ciencias Experimentales, centrada en los conceptos propios de cada ciencia, que contribuya a facilitar criterios de selección y secuenciación de contenidos curriculares, aporte datos sobre la elaboración de conceptos científicos y dificultades de aprendizaje, y se concrete en el diseño, producción y evaluación de recursos que mejoren los correspondientes sistemas de enseñanza-aprendizaje.

Así mismo, trata de estudiar las peculiaridades del lenguaje utilizado en los textos de Ciencias, y de aportar datos acerca de la estructuración del pensamiento

humano, mediante el análisis del conocimiento científico en expertos expresado a través de su lenguaje escrito, con relación a un tema y con un propósito determinado.

METODOLOGÍA GENERAL DE INVESTIGACIÓN

En la temática de investigación pueden distinguirse los siguientes aspectos: el lenguaje en las Ciencias, el aprendizaje de conceptos científicos, la enseñanza de conceptos de ciencias, el diseño y desarrollo de recursos didácticos. Desde el punto de vista metodológico cada uno de ellos recibe un tratamiento diferenciado que brevemente reseñamos a continuación.

Se propone una nueva metodología de investigación relacionada con el **Lenguaje en las Ciencias**, tras definir y poner a punto técnicas de trabajo tanto para la selección y muestreo de documentos escritos como para la automatización de la toma de datos, su tratamiento, y la presentación de resultados.

En primer lugar se tiene en cuenta el lenguaje escrito en distintos idiomas, en relación con un contenido temático predeterminado, mediante técnicas de selección, evaluación de textos, muestreo y preparación de archivos.

A continuación se aplican técnicas lexicométricas con las que obtener vocabularios específicos, listados de frecuencia, densimetrías de información, e interrelaciones entre vocablos (incluyendo su cuantificación), para por ejemplo hacer una primera propuesta de selección y secuenciación de contenidos curriculares relativos al tema en estudio.

Puede obtenerse una más amplia información sobre esta parte de la línea de investigación en Ceballos y colaboradores (1998 a), y un ejemplo de aplicación parcial en Ceballos y colaboradores (1998 b).

Además de la elaboración y automatización de nuestra propia técnica de trabajo, se pretende contrastarla con las proporcionadas por los programas informáticos de Estadística Textual ya existentes, de los que puede obtenerse información en los libros de Etxeberría y otros (1995), Lana (1994) y Lebart y Salem (1994). Por otra parte, de forma complementaria, se utilizarán las técnicas usadas por otros investigadores interesados en el Lenguaje en las Ciencias, como por ejemplo las aplicadas por Llorens y otros (1989), Anderson y Botticelli (1990), Eltinge y Roberts (1993), Michinel y D'Alessandro (1994), Perales (1997), etc.

La parte dedicada al **Aprendizaje de conceptos** se inicia con la elección de algunas de las estructuras conceptuales identificadas en la fase anterior; para ello se considera la importancia de uso y la capacidad de relación de los con-

ceptos que intervienen en cada estructura (de los que especificaremos algo más en el apartado siguiente).

Para cada concepto se determinan sus características definitorias, cómo se genera y elabora a lo largo del tiempo, los requisitos curriculares y de desarrollo psicoevolutivo que precisa, las ideas previas que le afectan, y las dificultades conocidas para su aprendizaje. En relación con ello, para cada caso particular en estudio, es esencial aprovechar la abundante información bibliográfica generada en los últimos años sobre estas cuestiones; no obstante, si fuera preciso sería complementada con nuestra propia investigación.

Con éste conocimiento que posibilita matizar y mejorar la propuesta inicial de selección y secuenciación de contenidos, así como fundamentar suficientemente los aspectos docentes se aborda la **Enseñanza de conceptos**. Se inicia con un estudio de las posibles estrategias de enseñanza-aprendizaje de ese concepto, seguida de la determinación de los **Recursos** a utilizar, y de su diseño y realización caso necesario.

Los recursos se aplican y prueban con alumnos en diferentes contextos, se someten a análisis y evaluación, con las técnicas pertinentes a cada caso, y se establecen sus límites de uso y características.

Se proponen vías que faciliten la transferencia del aprendizaje y sistemas de evaluación para cada uno de los conceptos estudiados.

No hemos detectado la existencia de grupos de investigación con análogo enfoque al aquí esbozado. La línea presenta una cierta complejidad, asume el carácter interdisciplinar de la Didáctica de las Ciencias, es suficientemente amplia y flexible, no precisa de elevado coste en instrumentación, no queda supe-
ditada a periodos de muestreo ni de experimentación, y resulta fácil de trabajar una vez queden bien determinadas las técnicas de investigación.

DESARROLLO ACTUAL

De acuerdo al planteamiento de la investigación, en este primer periodo centramos nuestros esfuerzos en desarrollar la metodología relacionada con el Lenguaje en las Ciencias.

Hemos realizado la búsqueda e iniciado el estudio y discusión de la bibliografía referida a esta temática. Las fuentes documentales, si bien no demasiado abundantes y con diversos enfoques, permiten apreciar el interés constante sobre el tema en la comunidad científica, como demuestran los trabajos de García Hoz (1976), Cigada (1988), Sutton (1992), Moody (1996), Galagovsky y otros (1998) o recientes monografías -Varios Autores (1997)-.

Estamos aún desarrollando una metodología de investigación para el Lenguaje en las Ciencias. Se están determinando los perfiles de búsqueda bibliográfica, una serie de técnicas de trabajo para la selección y valoración de textos, eligiendo las estrategias posibles para la comparación de archivos, los tipos de representaciones más adecuadas, la clase de resultados más relevantes, etc. Utilizando técnicas de Estadística Textual obtenemos diversos datos de léxicos específicos temáticos, así como valores de sus interrelaciones. Tras definir y cuantificar tanto los elementos como sus interacciones, se hace posible su representación sistémica así como su modelización matemática. Trataremos de dar una idea general del procedimiento seguido.

Tras la *elección del tema* a estudiar, determinada por los intereses del investigador, se procede a *seleccionar documentos* escritos con propósitos definidos: divulgativos, académicos, científicos. El estudio de cada uno de estos ámbitos o la combinación de ellos permite extraer distinto tipo de conclusiones, que ya se han ejemplificado en el trabajo de Ceballos y colaboradores (1998 a).

Los documentos se someten a evaluación para estimar el carácter de experto del autor. Para ello se utiliza un cuestionario que califica los contenidos y su estructuración; ha sido elaborado a partir de los trabajos sobre evaluación de textos que aparecen en Cabero (1990), Sarramona (1990) y Rodríguez Diéguez y Sáenz Barrio (1995). En la actualidad estamos mejorando este instrumento, cuya finalidad es garantizar la calidad de la muestra, para adaptarlo a los diferentes tipos de documentos; simultáneamente y como resultado de ello, estamos discutiendo la conveniencia de cambiar los criterios de evaluación del carácter experto del autor.

Caso de aceptarse un documento para integrarse en la muestra, se cumplimenta una ficha que permite su identificación, archivo ordenado, y el adecuado tratamiento posterior. El tamaño de la muestra no depende del número de documentos sino del número total de palabras aportadas por ellos, y se determina con relación a los requerimientos estadísticos de los estudios a efectuar en cada caso.

En la *preparación del texto*, cuyo objeto es preparar un archivo tratable estadísticamente de acuerdo a las opciones de investigación que interesen, en primer lugar hacemos uso de medios informáticos que nos permiten escanear el documento y transformarlo en texto reconocible para un Procesador de Textos mediante un programa de Reconocimiento Óptico de Caracteres.

Seguidamente se modifican o suprimen partes del texto no relevantes para el estudio. Se definen las unidades semánticas y se marcan los homónimos que sean pertinentes. A continuación los verbos se pasan a infinitivo, los plurales a singulares y los femeninos a masculinos. Finalmente se eliminan vocablos tales como preposiciones, artículos, sustantivos de uso vulgar, etc. En estos primeros estudios, realizados mediante un proceso manual, mantenemos la atención tanto

sobre los nombres (conceptos) como sobre los verbos (acciones, procesos). Este texto así configurado queda disponible para ser considerado individualmente o integrado en otro conjunto de textos análogos.

Actualmente se trabaja en mejorar la automatización ya conseguida de toda esta fase.

El texto así depurado se somete a *tratamiento estadístico*. El cálculo de la frecuencia relativa de cada palabra nos proporciona una medida de su importancia de uso. La determinación y medida de las relaciones entre palabras se pueden lograr mediante diferentes métodos. Uno de ellos considera el entorno de cada palabra. Este entorno está integrado por “n” palabras a cada lado de la seleccionada, atribuyéndoseles diferente valor de acuerdo a su proximidad. El conjunto de relaciones cuantificadas permite atribuir a cada palabra un factor de capacidad de relación.

La *representación gráfica* de los resultados obtenidos proporciona una red, que nos muestra cuantitativamente las interrelaciones existentes entre las palabras objeto del estudio de entorno. Los valores de importancia de uso y capacidad de relación nos proporcionan una medida de la importancia de cada palabra en la red. Tanto el análisis de ésta como la comparación de redes nos permiten deducir consecuencias didácticas diversas. El trabajo de Ceballos y colaboradores (1998 c) puede servir para ilustrar adecuadamente los aspectos estadísticos y de representación gráfica.

Sobre el Aprendizaje de conceptos hemos discutido los criterios a aplicar para la elección de las estructuras conceptuales y los procedimientos para obtener coeficientes válidos relativos a la frecuencia de uso y al factor de capacidad de relación de cada concepto. Precisamos obtener más datos procedentes del análisis de textos para someter a prueba los procedimientos a utilizar definitivamente.

Por otra parte, se ha iniciado la búsqueda y el estudio de la bibliografía pertinente, en su mayor parte relacionada con Psicología Cognitiva y con Semántica, para fundamentar teórica y rigurosamente los aspectos del aprendizaje de conceptos científicos. De igual manera hemos procedido con la bibliografía relativa a las técnicas de trabajo investigador propias de estas áreas y que resultan de nuestro interés.

Respecto a la Enseñanza de conceptos no ha sido posible iniciarla dado el desarrollo actual de la línea de investigación, sin embargo, a modo de prueba para detectar dificultades en la elaboración de Recursos, se ha iniciado el diseño y realización de un programa informático sobre el Sonido, para su uso en la Educación Secundaria, contando con la colaboración de Programadores profesionales.

Por otro lado estamos estudiando y probando diversas técnicas para el análisis y evaluación de recursos didácticos, a fin de delimitar sus posibilidades en relación con nuestros propósitos.

MARCO DE TRABAJO Y ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN

El desarrollo de la línea en nuestra Universidad se ha conseguido mediante una serie de acciones que pasamos a considerar brevemente.

El Centro Superior de Educación nos ha proporcionado una sede para trabajar, y otras instituciones y miembros de la comunidad universitaria nos han cedido la infraestructura mínima pero suficiente para iniciar la labor. En definitiva, un local para unos ocho puestos de trabajo, de los que tres de ellos están ya informatizados, con los programas de aplicación necesarios ya adquiridos y funcionando en red.

Se ha organizado un Grupo de Investigación –GICEC–, dispuesto a trabajar en la línea independientemente de proyectos temporales financiados. No se concibe como un grupo de número fijo y estable de miembros, sino que participarán o no según las necesidades puntuales de desarrollo de la línea de investigación, por lo que sus aportaciones estarán en función de ello. En la actualidad participan profesores universitarios pertenecientes a diversas Áreas de Conocimiento de la Universidad de La Laguna (Biología Animal; Didáctica de las Ciencias Experimentales; Estadística e Investigación Operativa; Filología Española; Filología Inglesa; Física Aplicada; Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica), y doctorandos procedentes del Programa de Doctorado “Didáctica de las Ciencias”. A ellos se unen una serie de colaboradores y asesores, tanto universitarios (Facultades de Física y Matemáticas, Centro Superior de Educación, Centro Superior de Informática, etc.) como de instituciones no universitarias (Instituto de Astrofísica de Canarias, Institutos de Bachillerato, etc.). Actualmente están comprometidos dieciséis miembros en Proyectos concretos ya presentados en instituciones oficiales.

Desde la promulgación de la Ley de Reforma Universitaria, aunque con diversas incidencias, hemos mantenido un Programa de Doctorado en Didáctica de las Ciencias, que cada vez orientamos más hacia la concurrencia con esta línea de investigación. En los Programas correspondientes a los dos últimos bienios se han matriculado una docena de alumnos.

Hemos comenzado a establecer convenios de colaboración con otras universidades, tanto con relación al Programa de Doctorado como a la incorporación a nuestra línea de trabajo. Actualmente concretamos estos convenios con dos universidades colombianas.

Se ha conseguido alguna financiación mediante la concurrencia a convocatorias de Proyectos de Investigación, pero insistimos en conseguir financiación externa. Las perspectivas son prometedoras aunque aún inciertas.

REFERENCIAS

- ANDERSON, O.R. y BOTTICELLI, S. (1990). Quantitative analysis of content organization in some biology texts varying in textual composition. *Science Education* 74 (2): 167-182.
- BARBERÁ, O. y VALDÉS, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las Ciencias* 14 (3): 365-379.
- CAAMAÑO, A. (1992). Los trabajos prácticos en ciencias experimentales. Una reflexión sobre sus objetivos y una propuesta para su diversificación. *Aula de innovación educativa* 9: 61-68.
- CABERO, J. (1990). *Análisis de los medios de enseñanza*. Alfar. Sevilla.
- CEBALLOS, J.P., GALOTTI, A. y VARELA, C. (1998 a). El análisis de textos y los contenidos en Ciencias. *Resumos do 8º Encontro Ibérico para o Ensino de Física. Universidade do Porto*. Portugal. pp:176-177.
- CEBALLOS, J.P., GALOTTI, A., VARELA, C. y LEAL, P. (1998 b). Análisis de textos de enseñanza secundaria italianos y españoles: el sonido. *Resumos do 8º Encontro Ibérico para o Ensino de Física. Universidade do Porto*. Portugal. pp:174-175.
- CEBALLOS, J.P., GALOTTI, A., VARELA, C. y TALAVERA, J.A. (1998 c). El Sonido en textos de la Educación Secundaria Obligatoria. *Actas de los XVIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidade da Coruña*. (En prensa; en este mismo volumen).
- CIGADA, S. (1988). *Il Linguaggio della scienza ed il suo insegnamento*. La Scuola. Brescia (Italia).
- ELTINGE, E.M. y ROBERTS, C.W. (1993). Linguistic content analysis: A method to measure science as inquiry in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching* 30: 65-83.
- ETXEBERRÍA, J., GARCÍA, E., GIL, J. y RODRÍGUEZ, G. (1995). *Análisis de datos y textos*. Ra-ma. Madrid.
- FURIÓ, C. y GUIASOLA, J. (1998). Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y de campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. *Enseñanza de las Ciencias* 16 (1): 131-146.
- GALAGOVSKY, L.R., BONÁN, L. y ADÚRIZ BRAVO, A. (1998). Problemas con el lenguaje científico en la escuela. Un análisis desde la observación de clases de ciencias naturales. *Enseñanza de las Ciencias* 16 (2): 315-321.
- GARCÍA BARROS, S., MARTÍNEZ LOSADA, C., MONDELO ALONSO, M. y VEGA MARCOTE, P. (1997). La astronomía en textos escolares de educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias* 15 (2): 225-232.

- GARCÍA HOZ, V. (1976). *El vocabulario general de orientación científica y sus estratos. (Bases para una enseñanza vertebrada)*. Instituto S. José de Calasanz (C.S.I.C). Madrid.
- GIL, D. y SOLBES, J. (1993). The introduction of Modern Physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education* 15 (3): 255-260.
- GLENN, W.H. (1990). Treatment of selected concepts of organic evolution and the of life on Earth in three series of High School Earth Science textbooks: 1960-1989. *Science Education* 74 (1): 37-52.
- LANA, M. (1994). *L'uso del Computer nell'analisi dei testi*. F. Angeli. Milano.
- LEBART, L. y SALEM, A. (1994). *Statistique Textuelle*. Dunod. Paris.
- LILLO, J. (1994). Los trabajos prácticos de ciencias naturales como actividad reflexiva, crítica y creativa. *Alambique* 2: 47-56.
- LLORENS, J.A., DE JAIME, M^a.C y LLOPIS, R.. (1989). La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 7 (2): 111-119.
- MICHINEL, J.L. y D'ALESSANDRO MARTÍNEZ, A. (1994). El concepto de energía en los libros de textos: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje. *Enseñanza de las Ciencias* 12 (3): 369-380.
- MOODY, D.E. (1996). Evolution and the textbook structure of biology. *Science Education* 80 (4): 395-418.
- PERALES PALACIOS, F.J. (1997). Escuchando el sonido: concepciones sobre acústica en alumnos de distintos niveles educativos. *Enseñanza de las Ciencias* 15 (2): 233-247.
- RODRÍGUEZ DIÉGUEZ, J.L. y SÁENZ BARRIO, O. (1995). *Tecnología Educativa. Nuevas tecnologías aplicadas a la Educación*. Marfil. Alcoy.
- SARRAMONA, J. (1990). *Tecnología Educativa*. Ceac. Barcelona.
- SUTTON, C.R. (1992). *Words, Science and Learning*. Open University Press. Buckingham.
- VARIOS AUTORES (1997). Monografía: Lenguaje y comunicación. *Alambique* 12: 5-86.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a la memoria del insigne Profesor Víctor García Hoz, recientemente fallecido, pionero en España de los estudios cuantitativos sobre vocabulario con orientación didáctica. Sus importantes publicaciones y trato personal han ejercido una decisiva influencia en el diseño de esta línea de investigación.

El Proyecto "Los conceptos en la enseñanza de las Ciencias para la Educación Secundaria", financiado por la Universidad de La Laguna con el nº 212 – 80 / 97, ha sido la primera contribución institucional en la elaboración e inicio de esta línea.