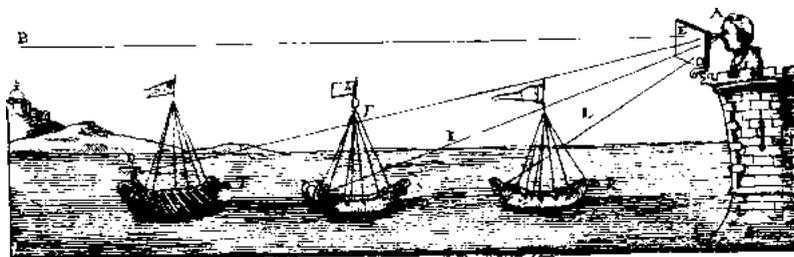


INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA



EL «ANÁLISIS DEL CONTENIDO CONCEPTUAL» DE LOS CURRÍCULOS Y PROGRAMAS DE CIENCIAS: UNA POSIBLE HERRAMIENTA DE MEDIACIÓN ENTRE LA DIDÁCTICA Y LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

KOLIOPOULOS, DIMITRIS¹; ADÚRIZ-BRAVO, AGUSTÍN² y RAVANIS, KONSTANTINOS¹

¹ Departamento de Ciencias de la Educación y de Educación Preescolar. Universidad de Patras. Grecia

² GEHyD-Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales, CeFIEC-Instituto de Investigaciones Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires
dkoliop@upatras.gr

aadurizbravo@cefec.fcen.uba.ar

ravanis@upatras.gr

Resumen. En este trabajo se propone el análisis del contenido conceptual de currículos y programas de ciencias como una posible herramienta de mediación entre la didáctica de las ciencias como disciplina académica y la enseñanza de las ciencias como práctica profesional. A partir del análisis, se presenta una clasificación de diversos programas recientes y actuales que introducen el concepto de energía en el nivel secundario; la clasificación consiste en tres «tipos ideales» de programa (tradicional, innovador y constructivista), cada uno caracterizado por una serie de «ejes». Finalmente, se discute cómo podría usarse esa clasificación a la hora de acercar los resultados de la investigación didáctica al día a día de las aulas de ciencias.

Palabras clave. Currículo, programas de ciencias, análisis conceptual, herramienta de mediación, ciencia escolar, energía.

The «analysis of conceptual contents» of Science curricula and programmes: A possible mediation tool between Science Education research and practice

Summary. In this paper we propose the analysis of the conceptual contents of Science curricula and programmes as a possible mediation tool between Didactics of Science (i.e. Science Education as an academic discipline) and Science Teaching as a professional practice. From the analysis we carried out, a classification of different recent and current programmes which introduce the concept of energy in the secondary level; such classification consists of three «ideal types» of programme (traditional, innovative, and constructivist), each of them characterised by a series of «axes». Finally, we discuss how we could use this classification when trying to bring the results of didactical (i.e. Science educational) research closer to the Science classrooms.

Keywords. Curriculum, science programmes, conceptual analysis, mediation tool, school science, energy.

INTRODUCCIÓN

Se ha señalado repetidas veces que, en el transcurso de las últimas cuatro décadas, el estudio cuidadoso de los problemas de enseñanza y de aprendizaje de las ciencias (experimentales) condujo al desarrollo de una nueva disciplina emergente –la didáctica de las ciencias–, es decir, a la creación de un campo de carácter tecnocientífico altamente *autónomo* que hoy constituye un referencial consolidado para la investigación y la innovación alrededor de determinados fenómenos concernientes a la educación en ciencias. Tal campo se caracteriza por una mirada teórica y metodológica específica sobre su espacio de problemas (Astolfi y Develay, 1989; Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2002; Adúriz-Bravo et al., 2001; Joshua y Dupin, 2005; Gallego Badillo et al., 2007).

A la par del desarrollo de esta didáctica de las ciencias como espacio académico con personalidad distinguible, se han venido produciendo, en el escenario internacional, numerosas reformas en la enseñanza de las ciencias –algunas fundamentadas en esta nueva didáctica y muchas otras no– en los distintos niveles educativos, desde el inicial al universitario. En efecto, muy a menudo los cambios de la segunda mitad del siglo xx en los currículos y programas¹, en los libros de texto y en las propias *prácticas* de enseñanza de las ciencias no fueron provocados, ni tan siquiera influidos, por las nuevas ideas teóricas que iban generándose o por los resultados de investigación empírica de los que se iba disponiendo en la emergente didáctica de las ciencias. Sin duda existen diversas explicaciones para esta ausencia de comunicación entre la producción de la comunidad de investigadores e investigadoras en didáctica de las ciencias (muchos de los cuales son profesores y profesoras en algún nivel del sistema educativo) y las prácticas cotidianas *usuales* en las aulas de ciencias, encuadradas en una epistemología propia que les impone *restricciones* de ciertos tipos específicos (ver Porlán et al., 1997; Perafán, 2000).

La emergencia de la didáctica de las ciencias como disciplina podría ser entonces descrita como la organización de un nuevo espacio teórico-metodológico (a modo de los *colegios invisibles* de los que hablaba Thomas Kuhn, 1971), convocando a una serie de especialistas de diversas áreas, pero principalmente de las propias «ciencias a enseñar» (física, química, biología, etc.), organización que lleva al establecimiento de una serie de hipótesis de trabajo fundantes acerca de los procesos de aprendizaje, las características de la buena enseñanza, la naturaleza de los saberes y la influencia del contexto educativo (es decir, en torno a los cuatro vértices del «sistema didáctico»: Astolfi y Develay, 1989; Joshua y Dupin, 2005; Ravanis, 2010) para el caso particular de las ciencias como disciplinas escolares. Esas hipótesis de trabajo tendrían, hasta el momento, un grado restringido de incidencia en la profesionalidad del profesorado de ciencias a la hora de tomar decisiones fundamentadas en las aulas.

Ahora bien, los contextos específicos en los cuales se desarrollan las relaciones sustantivas de ese sistema didáctico en la enseñanza de las ciencias quedan definidos (aunque «subdeterminados») por el tipo de currículo vi-

gente, las condiciones de trabajo, los constreñimientos institucionales y sociales a la tarea docente y las concepciones del profesorado de ciencias acerca de su quehacer profesional (enseñanza, aprendizaje, contenidos, naturaleza de las ciencias eruditas y de las ciencias a enseñar...). Si suponemos, en efecto, que la comunidad de la didáctica de las ciencias investiga e innova teniendo siempre como su objetivo principal la mejora de la educación científica en una variedad de esos contextos, debemos entonces aceptar que un desafío importante para ambos «extremos» de esta relación investigación-práctica es el establecimiento de una comunicación horizontal eficiente y respetuosa. Con estas consideraciones de fondo, se vuelve entonces evidente la conveniencia de una investigación didáctica que se realice en diversos niveles de concreción y con diferentes abordajes teóricos y metodológicos, algunos de ellos apuntando específicamente a la *transferibilidad* del corpus de saberes académicos hacia la transformación activa de la realidad de la práctica de enseñar ciencias.

A nuestro juicio, un campo semántico adecuado para fortalecer puentes comunicativos entre los diversos actores (didactas, profesorado en formación y en servicio, y formadores y formadoras del profesorado) sería el de las concepciones profesionales de los profesores y profesoras de ciencias en relación con las *decisiones que toman durante la enseñanza*. En efecto, este campo sería de gran importancia habida cuenta del hecho de que tales decisiones, por una parte, constituyen una fuerza que determina las prácticas pedagógicas y las configuraciones didácticas vigentes y, por otra parte, son tomadas a menudo desde criterios técnicos de matriz empírica, informal e implícita (Porlán et al., 1997; Mellado Jiménez, 2001; Perafán y Adúriz-Bravo, 2002). Además, la cuestión de las concepciones y su influencia en las decisiones sería de interés para los propios profesores y profesoras de ciencias, porque formaría una parte no menor de su problemática cotidiana: qué hacer frente a cada situación que se presenta en el día a día del aula.

En torno al tema del llamado *pensamiento del profesorado de ciencias*, podríamos hacernos una serie de preguntas con interés para la investigación empírica en nuestra didáctica específica:

1. ¿Cuáles son las unidades didácticas que el profesorado de ciencias elige o diseña? ¿Cómo y por qué lo hace?
2. ¿Cómo proceden los profesores y profesoras para organizar (seleccionar, secuenciar) los contenidos de la *ciencia escolar* en actividades?
3. ¿Cuándo propone el profesorado actividades experimentales y cómo las presenta al estudiantado? ¿Cuáles son los objetivos de tales actividades experimentales?

Llegar a *explicar* las respuestas que se encuentran a todas estas cuestiones presupone estudiar a fondo las decisiones del profesorado; tales decisiones no pueden tomarse sino en función de un conjunto de criterios relativos

al desarrollo de la enseñanza en el aula, que incluye la «puesta en acción» de currículos y programas para transformarlos en *ciencia enseñada*. Esos criterios pueden formularse empíricamente en función de reflexiones hechas *en y sobre* la acción profesional del profesorado de ciencias en torno a qué es percibido como necesario, útil o eficaz, o pueden ser de alguna manera inferidos desde el marco referencial de la didáctica de las ciencias. Esto nos permite afirmar que los criterios en sí mismos, cuando son «directrices didácticas» *basadas en e informadas por* la investigación (cf. Millar, 2002; Tiberghien, 2008), constituirían poderosas herramientas de formación del profesorado de ciencias. Pero incluso en este último caso no resulta de ninguna manera obvio que el conocimiento didáctico aplicable pueda atravesar la «barrera» teoría-práctica; es bien conocida, en efecto,

[la] ilusión de los investigadores [de] creer que en principio (...) será posible fundamentar completamente la formación profesional únicamente sobre los resultados de la investigación (Martinand, 1994: 63; la traducción es nuestra).

A pesar de las diversas tentativas de desarrollar comunicación eficaz entre la investigación en la didáctica de las ciencias y el mundo de la enseñanza de las ciencias, la tan buscada transferencia presupone quizás el establecimiento de un consenso –aún no alcanzado– en torno a un referente común entre investigadores y profesorado. Tal referente se entendería como un *modelo mediador* entre las dos prácticas sociales, al estar elaborado de manera que resulta «legible» no sólo por parte de sus autores (la comunidad de didactas), sino también por parte del profesorado, los administrativos y políticos de la educación, los especialistas en currículo y los escritores de libros de texto, entre otros actores importantes.

En la línea de contribuir a un posible modelo mediador, el propósito del presente artículo es presentar una clasificación de las *concepciones curriculares* del concepto de energía en los niveles secundarios básico y superior (12-18 años). Se trata, mediante la clasificación, de *dar sentido* a un corpus de currículos y programas bajo la suposición de que el pasaje argumentado desde una aproximación curricular *proposicional* (que lista la estructura, el contenido y el campo de aplicación del concepto de energía y otros relacionados con él) hacia una aproximación *basada en modelos* (que tiene en cuenta el saber didáctico vigente) nos permitiría fomentar la tan deseada comunicación.

NATURALEZA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CLASIFICACIÓN

La clasificación más conocida de los programas (de física) sobre la energía es la de Driver y Millar (1985). Estos investigadores propusieron una clasificación *empírica* que incluye cuatro acercamientos a la enseñanza de la energía: 1. el acercamiento *analítico-conceptual*, 2. el acercamiento *fenomenológico*, 3. el acercamiento *utilitarista*, y 4. el acercamiento basado en problemáticas sociales. La clasificación de Driver y Millar, principal-

mente establecida a partir del análisis de los objetivos de enseñanza que exponen los programas, se propone sobre una gran cantidad de programas de enseñanza del Reino Unido que ellos examinaron. Se trata de una auténtica «cartografía» de los programas de enseñanza vigentes en un momento determinado, pero funciona al mismo tiempo como una herramienta analítica interesante. Nos parece, sin embargo, que el carácter altamente *situado* de esta clasificación hace que no conduzca a generalizaciones sobre las características epistemológicas del contenido de los diferentes tipos de programas de enseñanza de la energía existentes.

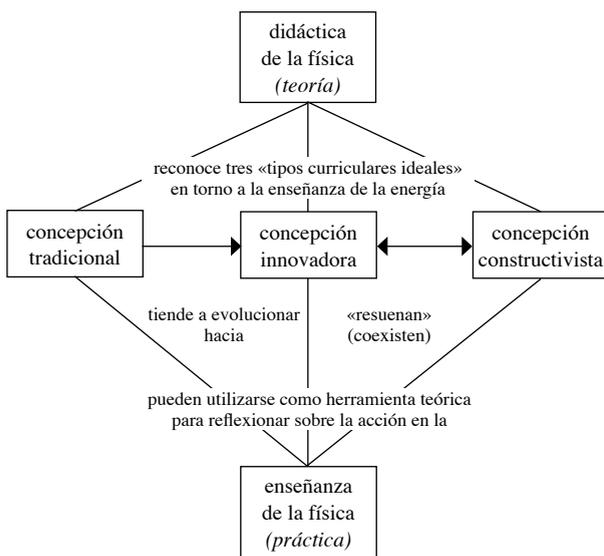
La clasificación que presentamos en este trabajo surge de una reorganización teórica de las conclusiones provenientes del análisis del *contenido conceptual* de currículos y programas reales, sostenidos como válidos actualmente o en el pasado reciente en diversos países. El criterio que llevó a la elección del material empírico fue que constituyeran el momento mismo de introducción del concepto teórico de energía en el nivel secundario básico o superior. Esta clasificación no corresponde a ningún currículo o programa en particular; sin embargo, y como lo hemos señalado, representa una suerte de modelo teórico que recoge y sistematiza un conjunto de características generales que se pueden manifestar completa o parcialmente en programas de enseñanza reales. Entonces, esas características generales (que llamaremos «ejes») provienen en parte de concepciones «curriculares» explícitas o implícitas que dos de nosotros (Koliopoulos, 1997; Koliopoulos y Ravanis, 2000; Koliopoulos y Constantinou, 2005) hemos inferido durante el análisis y discusión de datos durante una investigación realizada dentro del encuadre de la didáctica de las ciencias.

La clasificación que aquí discutimos no es otra cosa que un «reagrupamiento» de las conclusiones provenientes de un análisis epistemológico más detallado del contenido de los programas que examinamos, presentados sobre todo *bajo la forma de manuales escolares*, que constituyen curricularizaciones públicas y validadas. En particular, lo que realizamos es una análisis «coordinado» (es decir, buscando consistencias internas) de tres componentes importantes del saber científico (escolar): la componente *conceptual* (qué ideas sobre energía se enseñan), la componente *metodológica* (a través de qué actividades científicas escolares se enseñan esas ideas), y la componente *cultural* (cómo se otorga a esas ideas significatividad educativa). El protocolo de análisis utilizado, que se apoya en el estudio de las «frases clave» de los manuales escolares, se presenta en trabajos anteriores (Stavropoulos y Koliopoulos, 2005; Koliopoulos y Constantinou, 2005).

Nuestro marco de ideas pretende *explicar* la estructura, el contenido y las actividades propuestas por programas² del Reino Unido, Estados Unidos, Francia, Grecia y Argentina, casos concretos que se ajustan más o menos a la tipología dibujada por el marco. Es este segundo funcionamiento *explicativo* de la clasificación el que puede interesar principalmente al profesorado de ciencias y a los/as didactas de las ciencias que trabajan en la formación profesional docente, al proveer de ideas para la reflexión sobre la práctica de enseñar ciencias.

La clasificación que dos de nosotros habíamos propuesto (Koliopoulos, 1997; Koliopoulos y Ravanis, 2000) (figura 1) comporta tres grandes *concepciones* (bajo la forma de «tipos ideales») sobre el contenido conceptual presente en los currículos: la concepción tradicional, la concepción innovadora y la concepción constructivista. Describimos la naturaleza y las características de esas tres categorías de manera analítica a continuación. Es nuestra pretensión que el modelo clasificatorio que aquí presentamos permita abordar sistemáticamente las continuidades y discontinuidades en los diversos tipos de currículo, desde el momento en que tal modelo formula condiciones para la comparación de las diversas decisiones y elecciones realizadas en las prácticas educativas que conciernen a la enseñanza del concepto de energía.

Figura 1
Clasificación del contenido conceptual de los currículos y programas sobre energía entendida como herramienta de análisis.



La concepción tradicional

Esta primera concepción agrupa los currículos y programas organizados únicamente sobre la base de la lógica epistémica (interna) del propio contenido científico, elaborados sin mayor participación de análisis sistemáticos de carácter pedagógico, epistemológico, psicológico o didáctico. Un programa de enseñanza inglés bien conocido, el *Physics for you* (Johnson, 1991), así como el de física de la secundaria básica griega (12-15 años) (Zenakos et al., 1994), pueden ser incluidos en esta primera categoría.

Los ejes principales de la concepción tradicional son los siguientes:

1. *Dispersión temática.* Una de las características principales de la concepción tradicional es la *dispersión del*

concepto de energía a través de las diferentes unidades temáticas, con la idea de construirlo escalonadamente según una «lógica de resultados»: altamente lineal, analítica y deductiva, mostrando la ciencia como un producto acabado. En el programa griego, por ejemplo, encontramos el concepto de energía en unidades temáticas muy diferentes entre sí, como Trabajo, Máquinas simples, Temperatura-calor, Teoría cinética de los gases, Máquinas térmicas, y Emisión y propagación de la luz. Algo similar sucede en el programa inglés (con las unidades Termómetros, Trabajo-energía-potencia, Máquinas simples, Efectos térmicos de la corriente eléctrica, y Radiactividad, por ejemplo). La forma, en apariencia casi «fortuita», de introducir y analizar este concepto físico de energía podría deberse al hecho de que los temas mismos del currículo tradicional son introducidos de manera *apodíctica* (autoevidente y autojustificada, sin necesidad de ulteriores razones): no existe ningún criterio de selección, secuenciación o adaptación *exterior* a la estructura sintáctica de esta «ciencia de forma final», ni ningún objetivo didáctico fuera de la tautológica comprensión misma del contenido de la ciencia.

2. *Yuxtaposición o mezcla de marcos conceptuales.* Una de las consecuencias mayores de la característica de la concepción tradicional mencionada en el punto 1 es que el estudio del concepto de energía se realiza, cada vez que aparece en diferentes espacios de problemas –o *campos teóricos estructurantes* (Adúriz-Bravo, 2001), como los llamaremos aquí–, desde *marcos conceptuales diferentes*, apenas unidos por el «parecido de familia» de que la energía funciona a modo de «primera integral de movimiento» (combinación *formal* de variables cuyo valor numérico se mantiene constante)³. Consecuentemente, en cada aparición, el concepto de energía cobra un sentido teórico y empírico diferente, es decir, una relativa autonomía conceptual (Baltas, 1990), al no explorarse ni las ligaduras interteóricas ni las similitudes entre las «reglas del juego» de las diferentes instanciaciones. En la vertiginosa sucesión de unidades temáticas de los programas griego e inglés tradicionales, se yuxtaponen o mezclan marcos o redes conceptuales de la mecánica, la calorimetría, la termodinámica, la mecánica estadística, la electricidad, etc.; queda así la impresión de que, a nivel del secundario, no existe ninguna relación entre los diferentes campos estructurantes de la física en los cuales aparece la energía.

Ahora bien, de acuerdo con nuestra mirada teórica, podría inferirse la conclusión de que la yuxtaposición de numerosos marcos conceptuales que incluyen el concepto de energía y la sucesión «estanca» de esos marcos en pequeñas unidades didácticas que atienden a cada uno de los campos estructurantes, sin relacionarlos con los demás, presenta el peligro de limitar la potencia de tal concepto, ya que éste se le aparece al estudiantado cargado cada vez de un significado diferente. Así, aumenta también el riesgo de malentendidos conceptuales, al no poder trasladarse correctamente aquello común a las diferentes apariciones (concretizadas) de la idea de energía y diferenciarse adecuadamente los matices que toma en cada caso.

3. *Acercamiento conceptual mayormente cuantitativo*. El concepto de energía se introduce ya como *derivado* de la idea de trabajo (en el marco conceptual de la mecánica, por ejemplo), ya en tanto que *función* de magnitudes observables que describen un campo monofenomenológico de aplicación del concepto (la calorimetría, la electricidad, etc.). En el currículo griego, la energía se introduce casi «de golpe», vinculándola a los fenómenos mecánicos y estrechamente asociada al concepto de trabajo (en la unidad Energía-formas de energía), mientras que, más tarde, el calor (entendido como «energía») absorbido por una cantidad de agua que se calienta está vinculado a la masa, al calor específico y a la variación de temperatura del líquido (en la unidad Calorimetría). Si bien se puede ver una organización justamente inversa a ésta en el currículo inglés –donde el abordaje de los fenómenos térmicos (en el capítulo Medición del calor) es *anterior* al abordaje de los fenómenos mecánicos (en el capítulo Trabajo-energía-potencia), el tratamiento conceptual es una vez más casi únicamente cuantitativo. La principal crítica que se le puede hacer al contenido conceptual del currículo de tipo tradicional remite a que posee un núcleo duro de difícil entrada para el estudiantado: la *definición* (normativa) de la energía a partir de conceptos anteriores (típicamente, el trabajo). Podríamos considerar esta aproximación como «falseada» e insuficiente tanto según criterios epistémicos de la propia física como según criterios extraepistémicos (sociales y psicológicos) (ver Lehrman, 1973; Pintó, 2004). Además, la introducción del concepto de energía en tanto que función operacional de «mensurables» limita fuertemente el abordaje energético sólo al nivel cuantitativo.

La concepción innovadora

La concepción innovadora constituye un punto de vista que tiene sus orígenes en las innovaciones curriculares que aparecieron en los años 60 y 70 del siglo pasado. Se trata de un punto de vista influenciado no solamente por nuevas corrientes epistemológicas y psicológicas, sino también por una tendencia a incorporar las necesidades sociales al currículo científico⁴. El programa estadounidense *Energy* (desarrollado por Haber-Schaim, 1983) y el programa francés *Sciences Physiques: Libres Parcours* (Agabra y Jannequin, 1980) son buenos ejemplos de este segundo tipo ideal.

La concepción innovadora se caracteriza por los siguientes «ejes»:

1. *Unidades temáticas o conceptuales amplias*. En la concepción innovadora se pasa de la dispersión del concepto de energía en diversas unidades temáticas al planteamiento de una estructura conceptual más extensa, o incluso a la propuesta de considerar la energía como *principio organizador* (eje estructurante) del currículo de física (de año o de ciclo) en su integridad. Así, el principal elemento unificador de la sucesión de unidades que aparecen en el programa estadounidense (por ejemplo, Calor, Calor y carga eléctrica, ¿Dónde se encuentra el calor? y Energía potencial), es la idea de *transformación de las formas de energía*, de forma tal que va construyendo

poco a poco, aunque de una manera «confirmatoria», el principio fundamental de la conservación de la energía. En el currículo francés se encuentra una organización semejante del contenido conceptual: la idea de *transferencia de la energía* juega el papel unificador mayor en el desarrollo de las diversas actividades. Esta estructura se ve particularmente reforzada por el uso del concepto de potencia (en las unidades Gasto de energía y Pérdidas y rendimiento, por ejemplo).

2. *Desarrollo de un marco conceptual único*. En el caso de los currículos y programas innovadores en los cuales el contenido científico sigue teniendo el rol principal (el programa *Energy*, típicamente), se introduce la energía en tanto que *concepto primitivo* o *estructurante*: se subraya su carácter *unificador* e *interfenomenológico*, asegurado a través del principio de conservación de la energía, que funciona así a modo de constricción o ligadura. En el caso de los currículos innovadores que balancean la lógica más científica con las intenciones sociales en un conjunto mejor equilibrado de objetivos didácticos (el programa Libres Parcours, por ejemplo), la energía también se presenta como un concepto «madre» muy potente y se elige un primer marco conceptual de referencia centralizado, para desde allí hacer las transferencias pertinentes. En el ejemplo francés, ese marco es el de la *termodinámica macroscópica*. En ese programa, la forma que asume la transposición didáctica del marco conceptual de la termodinámica es la del modelo de la «cadena energética» (cf. Agabra, 1986; Devi et al., 1996).

3. *Acercamiento cualitativo o «semicuantitativo»*. El modelo de la cadena energética y otros similares, contrariamente a la aproximación tradicional, funcionan en tres niveles: 1) en el nivel *verbal/cualitativo*, en el cual se da importancia a la representación simbólica del modelo con la ayuda de la distinción propuesta entre la noción de energía almacenada (la energía en tanto que propiedad de los sistemas físicos) y la energía transferida (por ejemplo, el trabajo), que establece la relación fuente-receptor mientras dura el fenómeno; 2) en el nivel *cuantitativo*, donde, con la ayuda de mediciones y el establecimiento de relaciones de inclusión o de relaciones de analogía, las formas de energía almacenadas corresponden a variaciones de cantidades de energía que «obedecen» a relaciones numéricas simples con las cantidades de energía transferidas; y 3) en el nivel de las *magnitudes físicas*. Este funcionamiento *explicativo* del modelo de cadena da al estudiantado la posibilidad de atribuir un sentido a las relaciones matemáticas estudiadas.

La concepción constructivista

La concepción constructivista agrupa abordajes que se caracterizan inicialmente por constituir propuestas alternativas completas de enseñanza de la energía, y no aproximaciones restrictivas donde el camino de elaboración del concepto se apoya en un número limitado de actividades. Las intenciones comunes de la concepción constructivista son: 1) la necesidad de una *integración esencial de las concepciones del estudiantado sobre los*

conceptos físicos en la formulación de los propósitos y objetivos didácticos; y 2) la formulación de objetivos didácticos de manera que apoyen la visibilización de *los procesos de elaboración conceptual*, lo que no es el caso en los dos tipos curriculares precedentes.

Uno de nosotros, en una revisión sistemática de diversas investigaciones relativas a los proyectos de enseñanza constructivistas (Koliopoulos, 1997), mostró que existen al menos dos aproximaciones ligeramente diferentes, cuyas características centrales pueden ser generalizadas de manera que sea lícito hablar de una única «concepción constructivista». En ese estudio se identificaron los siguientes «ejes»:

1. *La aproximación mediante la diferenciación progresiva de conceptos relacionados con la energía.* Los proyectos de tipo constructivista en general apuntan a que el estudiantado pueda diferenciar ciertos conceptos semánticamente cercanos a la noción de energía que, antes de la instrucción explícita, son utilizados de manera poco diferenciada (energía, esfuerzo, potencia, poder, eficacia...). En este tipo curricular aparecen siempre actividades didácticas que intentan remontar los obstáculos conceptuales del estudiantado haciendo hincapié en la *diferenciación progresiva* de los conceptos en cuestión (por ejemplo, la diferenciación entre las nociones de temperatura, calor y energía –Agabra, 1986–, la diferenciación entre las nociones de energía eléctrica y corriente eléctrica –Shipstone y Gunstone, 1985–, o la diferenciación entre energía y su campo semántico del sentido común: fuerza, potencia, vitalidad, acción, eficacia, etc. –Adúriz-Bravo, 2007–). Esta manera de abordar el concepto de energía puede darse tanto a nivel monofenomenológico o interfenomenológico.

2. *La aproximación mediante el desarrollo de un «camino evolutivo» a partir de un «modelo-germen» de energía.* Los proyectos de tipo constructivista se apoyan en la interacción entre las concepciones alternativas del estudiantado y un «modelo-germen» explicativo que sirve de base para la elaboración de ulteriores *formas más elaboradas* (Tiberghien y Megalakaki, 1995; Koliopoulos, 1997; Ravanis et al., 2004), los «modelos teóricos escolares». Esta propuesta exige la activación explícita y posterior cuestionamiento de un razonamiento causal y lineal que el estudiantado utiliza muy frecuentemente cuando intenta describir y explicar el funcionamiento de diversos sistemas físicos (Halbwachs, 1973; Viennot, 1993). Esta manera de abordar el concepto siempre se da a nivel interfenomenológico, buscando las reglas del juego de la cadena energética en los distintos campos teóricos estructurantes.

En las dos aproximaciones anteriores, los objetivos didácticos constructivistas configuran tanto la naturaleza y la estructuración del contenido conceptual del programa, como su campo de aplicación fenomenológico. Así, en el programa propuesto por Koliopoulos (1997), y dado que se había constatado previamente que el estudiantado puede expresar más fácilmente concepciones «protoenergéticas» en los fenómenos térmicos que en los fenómenos mecánicos (Koliopoulos y Ravanis, 2001),

la introducción del modelo-germen se hace a través del campo teórico estructurante del calor; sólo después se intenta su reelaboración en torno a fenómenos mecánicos por medio de relaciones analógicas.

APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN COMO HERRAMIENTA DE MEDIACIÓN

La clasificación aquí relatada parece ofrecer instrumentos concretos al intento de reducir las distancias entre la investigación en didáctica de las ciencias/didáctica de la física y los currículos, los libros de texto y las prácticas de enseñanza en las aulas de ciencias/física. Decimos esto debido a que la *estructura* de la clasificación da apoyo a nuestra aserción inicial de que el movimiento desde un currículo «basado en conceptos» (tradicional) a un currículo «basado en modelos» (constructivista) se ajusta simultáneamente a: 1) las recomendaciones actuales de la didáctica; y 2) las prácticas de enseñanza del profesorado innovador. Entonces, si se «mira» la clasificación simultáneamente desde las dos esferas epistémicas de la investigación didáctica y la práctica profesional docente, se pueden hacer explícitos o poner en valor ciertos elementos de un emergente campo de «interés común» entre didactas y profesorado, a saber, la innovación curricular hecha por el profesor/a en su propia aula. La reflexión conjunta entre profesores/as y didactas sobre las nuevas prácticas curriculares ayudaría a la creación de puentes de comunicación por medio del contraste de dos formas de «lectura de lo real» en un contexto de diálogo constructivo que apele a un sistema común de significaciones «educativas» (ver, por ejemplo, Amigues y Caillot, 1990).

Hemos podido construir evidencias a favor de esta hipótesis de la «mediación» realizando una investigación empírica (Koliopoulos y Ravanis, 1998) sobre las concepciones de una veintena de profesores y profesoras, a los cuales se les pidió concebir y diseñar una secuencia de enseñanza experimental sobre el concepto de energía (para secundaria básica) luego de una presentación del modelo clasificatorio aquí discutido. Las ideas expresadas por el profesorado participante pudieron ser «encuadradas» en los tres tipos ideales (concepciones curriculares del contenido conceptual) utilizando los elementos teóricos introducidos más arriba.

En el transcurso de la discusión que se dio en torno a la presentación de las propuestas, el profesorado pareció entender y valorar la utilidad de la herramienta a la hora de reflexionar sobre la acción (dar sentido a sus prácticas profesionales). La discusión arribó a la formulación en común de cuatro constataciones importantes:

1. El profesorado tomó conciencia de las características, componentes y limitaciones del encuadre (tipo ideal) en el que trabaja.
2. El profesorado se hizo cargo del «poder discriminador» del modelo clasificatorio, lo que permitió extender y matizar el espacio de decisiones a tomar.

3. El trabajo sobre la clasificación le dio al profesorado la posibilidad de «explicar» algunos rasgos de sus prácticas profesionales, dándoles categorías para justificar y sostener explícitamente esas prácticas durante la argumentación.

4. Se percibió que el modelo de clasificación de los currículos y programas puede facilitar la planificación y la reorganización de su enseñanza.

Generalizando estos resultados, se podría sostener que la clasificación propuesta pretende no sólo definir, describir y categorizar las prácticas de los distintos actores involucrados en la enseñanza de las ciencias, sino también contribuir a la construcción de categorías para reorganizarlas, diferenciarlas, sostenerlas o transformarlas. A nuestro entender, el modelo clasificatorio provee de un sistema de significaciones para que diferentes especialistas (didactas y profesorado) puedan estudiar conjuntamente las prácticas profesionales de enseñanza de las ciencias, puesto que:

1. Da dinamismo a lo estático, al dotar de sentido al currículo de forma final «historizando» las decisiones tomadas.
2. Permite interpretar más que sólo describir las componentes de ese currículo, atribuyéndoles un papel en la lógica interna de armado.
3. Otorga valor práctico (funcional) específico a aquello que a primera vista podría parecer arbitrario o «consuetudinario».

A MODO DE CONCLUSIÓN

De las consideraciones precedentes, se sigue que la clasificación que hemos propuesto tiene un fuerte carácter *instrumental*, tanto a nivel teórico como a nivel praxiológico. En principio, se trata de una herramienta analítica para examinar los currículos y programas, como se hizo aquí. Pero, además, serviría para valorar los objetivos didácticos, el contenido científico y epistemológico y, en alguna medida, las dimensiones psicológicas y sociales de proyectos, unidades y materiales didácticos (entre otros, los libros de texto) (Koliopoulos et al., 1996). Además, y como hipótesis de trabajo, se podría explorar la posibilidad de que el modelo clasificatorio tenga, aparte de su función analítica, una función *sintética*: la de ayudar a diseñar itinerarios de construcción del concepto de energía en los distintos niveles educativos utilizando material didáctico de los tres tipos ideales apropiadamente seleccionado y articulado (ver Koliopoulos y Ravanis, 2000; Koliopoulos y Argyropoulou, 2010).

Evidentemente, la clasificación que hemos mostrado en este trabajo tiene un alcance limitado, dado el hecho de que ella se constituyó únicamente en función del estudio del contenido conceptual de algunos currículos y programas de enseñanza sobre el tema de la energía. Desde este punto de vista, puede resultar interesante intentar «reconocer» las tres grandes «formas» de currículo (tra-

dicional, innovadora y constructivista) en otros campos estructurantes de la ciencia, evaluando las variantes que van apareciendo. Así, de cara a una eventual generalización del modelo, ya estamos evaluando su pertinencia como herramienta de trabajo a la hora de analizar «curricularizaciones» de otros conceptos físicos (Koliopoulos y Constantinou, 2005; Ravanis et al., 2008). Si la clasificación se mantiene fructífera en otros temas, aunque se deban introducir modificaciones, matices y añadidos, tendremos indicaciones más precisas sobre su valor heurístico.

Como hemos dejado entrever en este trabajo, la clasificación propuesta puede constituir una herramienta para investigar las ideas y las actitudes del profesorado de ciencias en torno a la enseñanza de la energía (Koliopoulos y Ravanis, 1998). Pero al mismo tiempo hemos expuesto aquí la pretensión de que tal clasificación pueda ser empleada también en la formación del profesorado para todos los niveles educativos. Los «pilares» de tal formación podrían incluir discusiones explícitas y teóricamente apoyadas en torno a:

1. El análisis de contenido de la documentación oficial, los materiales didácticos y los libros de texto más comúnmente utilizados por el profesorado.
2. El reconocimiento de las diferencias y semejanzas entre las diversas concepciones de energía «circulantes».
3. El diseño de prácticas profesionales que puedan ayudar al profesorado de ciencias a seleccionar, adaptar o crear material didáctico que vaya más allá del currículo vigente en cada caso, con elementos de las concepciones tradicional, innovadora y constructivista que se juzguen valiosos (ver Koliopoulos y Argyropoulou, 2010).

Cabe señalar que ya está en curso la planificación sistemática, la puesta en marcha, la evaluación y la difusión de un pequeño «modelo» de formación continuada que tiene en cuenta lo discutido en este trabajo.

NOTAS

1. En este trabajo, llamaremos «currículo» a la prescripción *oficial* de contenidos a enseñar (para cada ciclo o año) hecha por autoridades competentes, y «programa», a la selección y secuenciación particular de esos contenidos (para cada año, semestre o unidades menores) hechas por la institución escolar o por el profesor o profesora a cargo de la enseñanza.
2. Los análisis presentados en este trabajo fueron realizados sobre programas (propuestas concretas de enseñanza, según la aclaración de la nota 1), pero diseñados no por profesorado de ciencias sino por innovadores de la didáctica de las ciencias. Estos programas, en todos los casos, aparecen expuestos en documentos bajo la forma de libros de texto *para el profesorado en actividad*.
3. Ésta es una de las tres grandes concepciones curriculares de la energía que describe Roser Pintó (2004).
4. En este sentido, la concepción innovadora estaría cerca de los planteamientos de tipo CTS: ciencia-tecnología-sociedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2001). *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias*. Tesis doctoral. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. [En línea: <http://www.tdx.cesca.es/TDCat-1209102-142933>.]
- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2007). *La energía: Cambios y movimientos: Docentes*. Serie «Cuadernos para el Aula», Física. Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. e IZQUIERDO-AYMERICH, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), pp. 130-140. En línea: <<http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen1/Numero3/Art1.pdf>>.
- ADÚRIZ-BRAVO, A., AISENSTEIN, Á., BIANCHINI, G., LÓPEZ ARRIAZU, F., SIMÓN, J. y VALLI, R. (2003). A theoretical conception of 'didactics of science' in continental Europe and Latin America, en *Programme & Abstracts of the 2003 ESERA Conference*, p. 134. Noordwijkerhout: ESERA.
- AGABRA, J. (1986). Échanges thermiques. *Aster*, 2, pp. 1-41.
- AGABRA, J. y JANNEAQUIN, F. (1980). *Sciences physiques*. Colección «Libres Parcours». París: Hachette.
- AMIGUES, R. y CAILLOT, M. (1990). Les représentations graphiques dans l'enseignement et l'apprentissage de l'électricité. *European Journal of Psychology of Education*, V(4), pp. 477-488.
- ASTOLFI, J.-P. y DEVELAY, M. (1989). *La didactique des sciences*. París: PUF.
- BALTAS, A. (1990). Once again on the meaning of physical concepts, en Nikolakopoulos, P. (ed.). *Greek studies in the philosophy and history of science*, pp. 293-313. Dordrecht: Kluwer.
- DEVI, R., TIBERGHEN, A., BAKER, M. y BRNA, P. (1996). Modelling students' construction of energy models in physics. *Instructional Science*, 24, pp. 259-293.
- DOMÈNECH, J.-L., GIL-PÉREZ, D., GRAS-MARTÍ, A., GUIASOLA, J., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., SALINAS, J., TRUMPER, R., VALDÉS, P. y VILCHES, A. (2007). Teaching of energy issues: A debate proposal for a global reorientation. *Science & Education*, 16, pp. 43-64.
- DRIVER, R. y MILLAR, R. (1985). Teaching energy in schools: Towards an analysis of curriculum approaches, en Driver, R. y Millar, R. (eds.). *Energy matters*, pp. 9-25. Leeds: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- GALLEGO BADILLO, R., PÉREZ MIRANDA, R. y TORRES DE GALLEGO, L.N. (comps.) (2007). *Didáctica de las ciencias: Aportes para una discusión*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- HABER-SCHAIM, U. (1983). *Energy*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- HALBWACHS, F. (1973). L'histoire de l'explication en physique, en J. Piaget et al. *L'explication dans les sciences*, pp. 72-102. París: Flammarion.
- JOHNSON, K. (1991). *Physics for you*. Londres: Stanley Thornes Publishers Ltd.
- JOSHUA, S. y DUPIN, J.J. (2005). *Introducción a la didáctica de las ciencias y la matemática*. Buenos Aires: Colihue. [Original en francés de 1993.]
- KOLIOPOULOS, D. (1997). *Aproximaciones epistemológicas y didácticas al proceso de construcción del currículo: El caso de la transposición didáctica y del aprendizaje del concepto de energía*. Tesis doctoral inédita. Patrás: Universidad de Patrás. [En griego.]
- KOLIOPOULOS, D., BAGAKIS, G. y PAPAMICHAEL, Y. (1996). Qualitative analysis of junior secondary science textbooks: The case of energy concept, en Kondyli, M. y Papamichael, Y. (eds.). *Proceedings of the UNESCO's International workshop: Pedagogical research and school textbooks elaboration*, pp. 53-56. Patrás: Cátedra UNESCO de la Universidad de Patrás.
- KOLIOPOULOS, D. y RAVANIS, K. (1998). L'enseignement de l'énergie au collège vu par les enseignants: Grille d'analyse de leurs conceptions, *Aster*, 26, pp. 165-182.
- KOLIOPOULOS, D. y RAVANIS, K. (2000). Élaboration et évaluation du contenu conceptuel d'un programme constructiviste concernant l'approche énergétique des phénomènes mécaniques. *Didaskalia*, 16, pp. 33-56.
- KOLIOPOULOS, D. y RAVANIS, K. (2001). Didactic implications resulting from students' ideas about energy: An approach to mechanical, thermal and electrical phenomena. *Themes in Education*, 2(2/3), pp. 161-173.
- KOLIOPOULOS, D. y CONSTANTINO, C. (2005). The simple pendulum in the school science textbooks of Greece and Cyprus. *Science & Education*, 14(1), pp. 59-73.
- KOLIOPOULOS, D. y ARGYROPOULOU, M. (2010). Constructing qualitative energy concepts in a formal educational context with 6-7 year old students. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 5(1), pp. 63-80.
- KUHN, T.S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica. [Original en inglés de 1962.]
- LEHRMAN, R.L. (1973). Energy is not the ability to do work. *The Physics Teacher*, 11(1), pp. 15-18.
- LEMEIGNAN, G. y WEIL-BARAIS, A. (1994). A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*, 16(1), pp. 99-120.
- MARTINAND, J.-L. (1994). La didactique des sciences et de la technologie et la formation des enseignants. *Aster*, 19, pp. 61-75.
- MELLADO JIMÉNEZ, V. (2001). ¿Por qué a los profesores de ciencias nos cuesta tanto cambiar nuestras concepciones y modelos didácticos? *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 40, pp. 17-30.
- MILLAR, R. (2002). Towards evidence-based practice in science education. *School Science Review*, 84(307), pp. 19-20.
- PERAFÁN, G.A. (2000). Epistemologías del profesor y ense-

- ñanza de las ciencias: Hacia un concepto adecuado acerca de las epistemologías de los profesores de física. *Pedagogía y Saberes*, 15, pp. 27-42.
- PERAFÁN, G.A. y ADÚRIZ-BRAVO, A. (comps.) (2002). *Pensamiento y conocimiento de los profesores: Debate y perspectivas internacionales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional/Colciencias.
- PINTÓ, R. (2004). ¿Qué modelo de energía deseamos que construyan nuestros estudiantes de secundaria? *Alambique*, 42, pp. 41-54.
- PORLÁN, R., RIVERO, A. y MARTÍN DEL POZO, A. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores: I. Teoría, métodos e instrumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), pp. 155-171.
- RAVANIS, K. (2010). La transformación didáctica: De las materias académicas a las prácticas escolares, en Pappas, G. (ed.). *Actas del Congreso «La lengua griega en América Latina»*, pp. 143-149. Buenos Aires-Patras: Universidad de Patras.
- RAVANIS, K., KOLIOPOULOS, D. y HADZIGEORGIOU, Y. (2004). What factors does friction depend on?: A socio-cognitive teaching intervention with young children. *International Journal of Science Education*, 26(8), pp. 997-1007.
- RAVANIS, K., KOLIOPOULOS, D. y BOILEVIN, J.-M. (2008). Construction of a precursor model for the concept of rolling friction in the thought of preschool age children: A socio-cognitive teaching intervention. *Research in Science Education*, 38(4), pp. 421-434.
- SHIPSTONE, D.M. y GUNSTONE, R.F. (1985). Teaching children to discriminate between current and energy, en Duit, R. et al. (eds.). *Aspects of understanding electricity*, pp. 287-297. Kiel: IPN.
- STAVROPOULOS, V. y KOLIOPOULOS, D. (2005). Análisis comparativo de los manuales escolares del liceo general y tecnológico: El caso de la energía, en Koliopoulos, D. y Vavouraki, A. (eds.). *Didáctica de la física: Desafíos del siglo XXI*. Atenas: EDIFE. [En griego.]
- TIBERGHIE, A. (2008). A design-based research project: Developing teaching materials in physics. Taller presentado en el *Noveno Simposio de Investigación en Educación en Física*, Rosario (Argentina).
- TIBERGHIE, A. y MEGALAKAKI, O. (1995). Characterization of a modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy. *European Journal of Psychology of Education*, 10(4), pp. 369-383.
- VIENNOT, L. (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants, *Didaskalia*, 1, pp. 13-27.
- ZENAKOS, A., LEKATIS, A. y SCHINAS, N. (1994). *Física*. Atenas: OEDB. [En griego.]

[Artículo recibido en octubre de 2010 y aceptado en junio de 2011]

The «analysis of conceptual contents» of Science curricula and programmes: A possible mediation tool between Science Education research and practice

KOLIOPOULOS, DIMITRIS¹; ADÚRIZ-BRAVO, AGUSTÍN² y RAVANIS, KONSTANTINOS¹

¹ Departamento de Ciencias de la Educación y de Educación Preescolar. Universidad de Patras. Grecia

² GEHyD-Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales, CeFIEC-Instituto de Investigaciones Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires
dkoliop@upatras.gr
aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar
ravanis@upatras.gr

Summary

Since the emergence of Didactics of Physics (i.e. Physics Education as an academic discipline), it has been a major concern for our scholarly community to bring the impact of research results closer to actual classroom practices. If we assume that didactic research and innovation have as their main goal improving the quality of Science Education, then we must accept that the establishment of efficient communication channels between researchers and practitioners is a major challenge for our discipline. Along the line of contributing to a possible «mediating model» between these two professional communities, in this paper we present a classification of curriculum conceptions in secondary Science Education (students aged 12-18). Our attempt is to give meaning to a selection of curricula and programmes under the hypothesis that researchers and teachers can co-construct argumentation to support the transition from a «propositional» to a «model-based» approach to energy teaching.

Accordingly, this paper initially presents a tool to analyse the conceptual content around the topic of energy in various curricula and programmes for secondary Science Education. On the basis of such analysis, we classify different recent and current programmes from the United Kingdom, the United States, France, Greece and Argentina, which introduce the concept of energy in the secondary school for the first time. All the programmes analysed are available under the form of textbooks aimed at teachers.

Our classification consists of three «ideal types» of programmes, which we call traditional, innovative, and constructivist. We characterise each of these three types by a series of «axes», related to internal content cohesion, scope of the theoretical conception of energy, and kind of approach (i.e. qualitative/quantitative) to laws. The traditional conception groups curricula and programmes organised only on the basis of the epistemic logic of the content of Physics; such curricula and programmes are elaborated without the input of systematic pedagogical, epistemological, psychological, or didactic analyses. The traditional conception presents the different Physics topics in a disperse fashion, shows a juxtaposition of conceptual frameworks, and adheres to a mainly quantitative approach. The innovative conception constitutes an approach originated in the curriculum innovations of the 1960s and 70s. This conception not only influenced by new epistemological and psychological tendencies, but it also incorporates social needs to Science

Education (such as STS). The innovative conception is characterised by broad instructional units, a coherent conceptual framework, and a qualitative approach. The constructivist conception intends to work from and on students' conceptions on energy, and poses instructional aims that foster processes of conceptual elaboration among students. This conception proposes a progressive differentiation of concepts, and designs an evolutionary path from a «germinal model» of energy.

We then propose that our analysis can function as a possible «mediation tool» between didactics of Science and Science Teaching as a professional practice. We consider that a semantic field that is adequate to construct communication links between researchers in Science Education and Science Teachers is that of teachers' professional conceptions around the *decisions that they make during teaching*. Effectively, this issue would be extremely important, since such decisions, on the one hand, constitute a driving force determining classroom pedagogies and, on the other hand, are usually made by teachers on the basis of empirical, informal, and implicit criteria. Teachers' professional conceptions and their influence in classroom decision-making would be, apart from a «hot topic» of research in didactics of Science, a matter of concern for Physics teachers, since such conceptions are on the very foundations of their everyday problems: what to do in each situation of Science Teaching.

With all this in mind, in the final sections we discuss how we can use our classification when trying to bring the results of research closer to the science classrooms. We state that our classification seems to offer concrete tools in order to fill the gap between research in didactics of Physics and curricula, textbooks and classroom practices. Our argument is that the structure of our classification gives support to our initial hypothesis: moving from a concept-based (traditional) to a model-based (constructivist) Physics curriculum is in tune with current recommendations from didactics of Physics and, at the same time, it explains some valued practices from innovative teachers. The classification can then be contemplated from the two epistemic spheres -research and practice-; this allows making some common grounds of interest between scholars and teachers explicit, namely, curriculum innovation made by teachers in their own classrooms.

Keywords: curriculum, Science programmes, conceptual analysis, mediation tool, school Science, energy.