

# LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE ENERGÍA EN LA FORMACIÓN INICIAL DE MAESTROS

MARTÍNEZ AZNAR, MARÍA MERCEDES<sup>1</sup> y VARELA NIETO, MARÍA PALOMA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Educación-Centro de Formación del Profesorado.

<sup>2</sup> Universidad Complutense de Madrid

mtzaznar@edu.ucm.es

varelap@edu.ucm.es

**Resumen.** Este artículo presenta una investigación sobre la introducción de la Metodología de Resolución de Problemas como una Investigación, para abordar el currículo de ciencias de la formación inicial de maestros, dentro de los planteamientos del Espacio Europeo de Educación Superior. Para ello, se diseñó la unidad didáctica «La energía, una realidad que nos envuelve», constituida por cuatro situaciones problemáticas abiertas. Los objetivos del estudio se refieren a la mejora del aprendizaje sobre los procedimientos involucrados en dicha metodología y sobre los contenidos científicos abordados en la unidad. Se contó con 35 futuros maestros de la Universidad Complutense de Madrid que resolvieron los problemas abiertos y que contestaron a cuestionarios de conocimientos (pretest-postest). Los resultados constatan mejoras en su capacidad para resolver problemas y aprender los contenidos científicos.

**Palabras clave.** Resolución de problemas, formación inicial de maestros, aprendizaje de las ciencias, energía.

## Open problem solving on energy for training prospective primary school

**Summary.** This research aims to test the effectiveness of using the Methodology of Problem-Solving as an Investigation (MPSI) approach to teaching the science curriculum of prospective primary school teachers, in accordance with European Higher Education Area (EHEA) principles. Research began with the design of a didactic unit, “Energy, a Reality that Surrounds Us”, composed of four open problematic situations. The target of the study is based on the supposition that there would be significant improvement both in learning of MPSI related procedures and in scientific knowledge. The sample consisted of 35 students of the UCM who performed the problem-solving activities and answered pre-test and post-test knowledge questionnaires. The results verify significant improvement in the application of MPSI procedures and positive evolution in scientific knowledge.

**Keywords.** Solving-problem, prospective primary school teachers, learning science, energy.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en la Unión Europea, y para la Educación Superior, se están llevando a cabo determinados cambios que tratan de concretar las propuestas recogidas en la Declaración de Bolonia (1999). Como es sabido, en el año 2010 se dispondrá de un Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), esto es, de un sistema educativo común de calidad que permita a Europa, entre otras cosas, su cohesión social a través de la educación y la formación de los ciudadanos a lo largo de la vida y su movilidad. Así, en España, entre los retos y compromisos para el futuro, se pretende desarrollar un nuevo enfoque que transforme nuestro sistema educativo universitario, basado en la «enseñanza», en otro basado en el «aprendizaje». Este proceso de mejora debe ser interactivo y

se sustenta en tres principios: 1) mayor implicación y autonomía del estudiante; 2) utilización de metodologías más activas: casos prácticos, trabajo en equipo, tutorías, seminarios, etc.; y 3) papel del profesor, como agente creador de entornos de aprendizaje que estimulen a los alumnos. En este marco, la formación inicial de profesores de educación primaria tendrá que modificarse y, concretamente, los conocimientos profesionales científicos se deberán acomodar no sólo al EEES sino también a toda la información que hay sobre la repercusión que tiene la enseñanza-aprendizaje de las ciencias a nivel social. En este sentido, se destaca el denominado Informe Rocard de la Comisión Europea (2007), que indica cómo «*the origins of the declining among young people for*

*science studies are found largely in the way science is taught in schools, this will be the main focus [for a radical change]*» (pág. 2), y sugiere que la solución al problema está en las buenas prácticas docentes, pues «*the pedagogical practices based on inquiry-based methods are more effective*» (pág.2).

**MARCO TEÓRICO**

De acuerdo con el contexto indicado y dado que la ciencia es una actividad humana y una de sus finalidades es la de resolver problemas, su enseñanza-aprendizaje deberá centrarse en este tipo de actividades. Para desarrollar esta tarea, nosotros asumimos la *Metodología de Resolución de Problemas como Investigación* (MRPI) como una propuesta de trabajo para afrontar la formación inicial de maestros en el ámbito científico-didáctico.

Este modelo tiene su origen en la Universidad de Valencia (España) y está sólidamente asentado en presupuestos filosóficos, epistemológicos y pedagógicos (Gil y Martínez-Torregrosa, 1983). Se fundamenta en la comparación entre cómo resuelven los científicos las situaciones problemáticas que se les presentan en sus investigaciones y el procedimiento que se debe utilizar dentro de las clases de Ciencias para que los estudiantes aprendan a resolver sus problemas escolares, favoreciendo así su formación.

En esta línea de trabajo, y desde hace más de una década, venimos desarrollando investigaciones basadas en la utilización de la MRPI y realizando contribuciones significativas en el ámbito de la Educación Secundaria para las asignaturas de Física (Martínez y Varela, 1996, 1997; Varela y Martínez, 1997a y b), Química (Martínez et al., 2001) y Biología (Martínez e Ibáñez, 2005; Ibáñez y Martínez, 2005, 2007). Estamos realizando también investigaciones en Educación Primaria (Dopazo, 2004) y en formación inicial de maestros (Martínez et al., 2001; Martínez et al., 2005). En todos los trabajos se han obtenido resultados altamente satisfactorios tanto en el cambio conceptual y de procedimientos logrado por los estudiantes como en lo relativo a las actitudes hacia la ciencia y su enseñanza (Martínez e Ibáñez, 2006).

El modelo propuesto está constituido por cinco etapas que se van a describir:

1. *Análisis cualitativo del problema.* Existe un amplio consenso, entre los expertos en el tema, a la hora de reconocer que la resolución de cualquier problema comienza por una aproximación cualitativa a la situación. Este tipo de análisis implica revisar el marco teórico de referencia, las posibles concepciones alternativas al respecto y, cuando sea necesario, introducir nuevos conocimientos. A partir de ahí, se deberá reformular el problema en términos operativos, es decir, acotándolo de acuerdo con las intenciones del alumnado. También se indicarán las restricciones que se van a introducir para hacer viable la resolución.

Por otra parte, el hecho de que los problemas planteados presenten enunciados abiertos fomenta en los estudiantes aspectos relacionados con la creatividad ya que, a partir de una propuesta inicial, se pueden derivar distintas situaciones problemáticas de acuerdo con los intereses de los alumnos (Garrett, 1988).

2. *Emisión de hipótesis.* Esta etapa marca importantes diferencias con las propuestas de resolución de problemas abiertos realizadas por otros autores (APU, 1984 y PROPHY, 1987). El modelo hace hincapié en que los alumnos, a partir del análisis cualitativo realizado, comiencen a hacer algún tipo de conjeturas que darán lugar posteriormente a una emisión de hipótesis.

En este momento del proceso, los estudiantes están en condiciones de reflexionar acerca de las variables que van a influir en el resultado y la naturaleza de esa influencia. De esta forma, las hipótesis orientarán toda la resolución permitiendo, luego, realizar un análisis riguroso de los resultados. La ausencia de datos en los enunciados obliga a los alumnos a pensar en términos de explicaciones provisionales que van a ser ensayadas. Precisamente, las hipótesis emitidas determinan los datos necesarios para la resolución del problema, en contra del procedimiento de tomar los datos como punto de partida.

Dentro de esta etapa, podemos destacar la relevancia de trabajar sobre casos límite con sentido dentro del marco teórico de trabajo y de fácil interpretación por parte de los alumnos. Estos casos van a colaborar, también, en el análisis fiable de resultados.

3. *Diseño de estrategias de resolución.* En este modelo, las estrategias de resolución se consideran construcciones tentativas, escogidas a partir del análisis cualitativo del problema y de las hipótesis que se han emitido previamente. Esta etapa permitirá la identificación y el control de las variables que harán factible resolver el problema reformulado y contrastar las hipótesis emitidas. Es el momento de hacer un plan de trabajo donde se indique el procedimiento a seguir y los materiales necesarios para llevarlo a cabo (Gil et al., 1991).

Las estrategias de resolución en las situaciones problemáticas de lápiz y papel son, en cierta manera, el equivalente a los diseños experimentales en los problemas que exigen un contraste práctico en el laboratorio.

4. *Resolución del problema.* Realizar una planificación correcta sobre las estrategias a utilizar impide un tratamiento de tipo ensayo/error, sin olvidar que esta fase se tiene que afrontar de un modo muy flexible, de forma que permita a los estudiantes «manipular» cuando se encuentren con un obstáculo insuperable. Siempre que sea posible, se procurará abordar el problema usando diferentes estrategias, siendo este procedimiento extremadamente útil a la hora de analizar los resultados, pues las coincidencias obtenidas van a permitir mostrar la coherencia del marco teórico utilizado (Martínez y Ovejero, 1997).

Otra cuestión en la que hay que hacer hincapié es que los alumnos verbalicen, lo más posible, los procesos de

resolución que están realizando alejándose, como consecuencia, de planteamientos lineales carentes de significado teórico. Verbalizar los procedimientos favorece, en grado sumo, tanto las revisiones críticas como el diagnóstico de errores, y algo sumamente interesante para el proceso de aprendizaje: fomenta la metacognición en el sujeto que aprende (Campanario y Otero 2000; Ibáñez y Martínez, 2005; Zion et al., 2005).

5. *Análisis de resultados*. Es un aspecto esencial del proceso. No se trata únicamente de comprobar si ha habido posibles errores en la resolución, sino lo que se denomina «verificación de la consistencia interna» del proceso realizado, es decir, analizar la información obtenida a la luz de las hipótesis emitidas haciendo hincapié en la comprobación de las situaciones límite. Un análisis riguroso va a permitir comprobar si la solución obtenida es correcta o si, por el contrario, tenemos que proceder a la revisión total o parcial del proceso.

Para finalizar el marco teórico, comentar que el modelo propuesto aboga por una metodología activa de trabajo que destaca el carácter social y colectivo de la investigación científica fomentando el aprendizaje autónomo (Principios 1 y 2 del EEES). Además, esta propuesta es del tipo *inquiry-based methods* y estaría dentro de lo que podríamos denominar *buenas prácticas*, contempladas en el mencionado Informe Rocard. Por todo ello, nos parece un vehículo interesante para abordar el currículo de formación inicial de maestros con la intención de ayudarles en la construcción de un conocimiento científico profesional. Con vistas al futuro, cabe esperar que el modelo formativo aquí desarrollado favorecerá la innovación en el sistema educativo cuando los maestros, hoy en formación, introduzcan dichas perspectivas en la escuela (Freitas et al., 2004; Tobin et al., 1994).

## PROPÓSITOS DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo ha tenido como finalidad evaluar la eficacia de una unidad didáctica centrada en la energía y sus propiedades, constituida por una secuencia de problemas cuya resolución se ha abordado con el modelo que hemos descrito. Con este planteamiento se han formulado las siguientes preguntas:

– ¿La utilización de la MRPI permitirá a los futuros maestros mejorar el aprendizaje en los procedimientos científicos involucrados en esta propuesta?, y

– ¿La utilización de la MRPI favorecerá la evolución de los contenidos científicos de los estudiantes hacia planteamientos más complejos y próximos a los mantenidos por la comunidad científica? Esta cuestión se formaliza en términos de hipótesis con el siguiente enunciado: «*El trabajo continuado con la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación va a producir en los estudiantes, al final del proceso, diferencias significativas favorables respecto al nivel de conocimientos sobre la energía, inicialmente detectados*».

## METODOLOGÍA

El desarrollo del trabajo ha estado orientado por el paradigma de la investigación-acción, donde el profesor juega el doble rol de profesor/investigador convirtiéndose en agente creador de entornos de aprendizaje activos (Principio 3 de las recomendaciones del EEES). En consonancia con este paradigma, el profesor ha estado apoyado por un investigador externo que complementa la recogida y análisis de la información.

## Muestra de estudio

La muestra, de tipo incidental, está formada por 35 individuos. Es un grupo-clase, de los cuatro existentes en la Facultad de Educación de la Universidad Complutense de Madrid, correspondiente a los estudios de primer curso de formación inicial de maestros, con una edad media de 19,2 años. Todos los alumnos han superado una prueba estándar de acceso a los estudios universitarios y sólo un 5% ha realizado un bachillerato científico.

Este grupo ha sido el asignado a la profesora-investigadora, sin sesgos diferenciales respecto a los demás del centro, pues se parte de la adjudicación al azar del alumnado a los grupos clase.

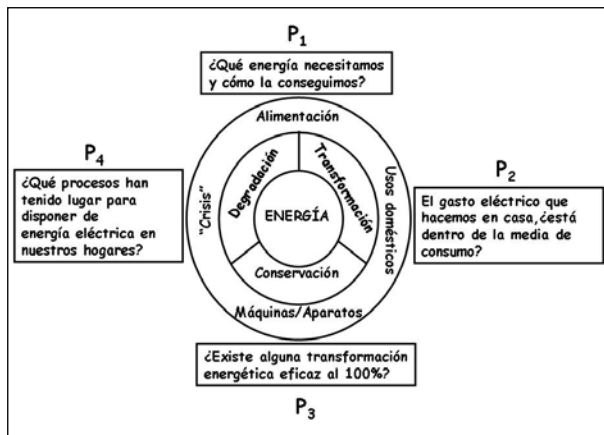
## La unidad didáctica «La energía, una realidad que nos envuelve»

La unidad, centrada en la energía y sus cualidades, se considera como un «itinerario de aprendizaje» que va a permitir al alumnado conseguir las metas esperadas. Este tema está incorporado en los currículos de primaria; además, como indican Liu y McKeough (2005), este contenido se relaciona, desde edades muy tempranas, con el desarrollo cognitivo de los escolares, resultando por tanto imprescindible tratarlo en la formación científica del futuro maestro (Summers et al., 1998).

En la figura 1 aparecen, en el primer círculo, los aspectos que se contemplan en la unidad: transformación, conservación y degradación, fundamentales para construir el concepto científico y escolar de la energía (Solbes y Tarín, 2004; Varela et al., 1995). En el segundo, los cuatro campos en que se va a plantear la resolución de problemas: alimentación, usos domésticos, máquinas y aparatos, y producción de energía eléctrica.

Como se observa, las situaciones problemáticas que constituyen la unidad didáctica tienen interés no sólo académico, sino también de relevancia social, al estar diseñadas dentro de un enfoque CTS. Nuestra intención era que los estudiantes, además de aprender contenidos escolares, fuesen capaces de tomar decisiones sobre asuntos cotidianos de forma más crítica y reflexiva y, en ese sentido, podemos considerar la propuesta altamente motivadora (Pérez de Landazábal et al., 1995; Fortus et al., 2005).

Figura 1  
Esquema de la unidad didáctica:  
«La energía, una realidad que nos envuelve»



En la tabla 1 se muestran los contenidos de los cuatro problemas indicando, de forma diferenciada, los distintos tipos de conocimientos que se van a abordar. Para una mejor comprensión del modelo adoptado (MRPI), en el anexo I se presenta la resolución detallada del problema 2 y en Martínez Aznar (2006) se puede encontrar la del problema 1.

**Metodología de clase**

Los estudiantes trabajan de forma autónoma, organizados libremente en grupos de 4 ó 5 personas de acuerdo con sus intereses. Para facilitar la actividad con el modelo propuesto, se utiliza una plantilla donde aparecen sus diferentes etapas, y se familiariza a los alumnos con situaciones abiertas como, por ejemplo: *¿Qué papel es más absorbente?* o *¿Qué tejido nos abrigará más?* Esta fase previa se desarrolla a lo largo de tres o cuatro sesiones de clase de 90 minutos de duración.

Una vez familiarizados con el modelo propuesto, la profesora presenta la unidad didáctica indicando la importancia del tema tanto desde el punto de vista científico y social como de su relación con el área curricular de Conocimiento del Medio en Educación Primaria.

La secuencia de enseñanza-aprendizaje comienza con la entrega del enunciado del problema para que el alumnado identifique los conocimientos requeridos y se haga consciente de sus limitaciones. Seguidamente, en el grupo se discuten las distintas aportaciones individuales emergiendo las dificultades y/o carencias para la resolución. Este primer momento, que se corresponde con la etapa *Análisis cualitativo*, requerirá por parte del docente la introducción y/o revisión de los conocimientos. Un profesor atento reconoce, en las aportaciones de los alumnos, la presencia de ideas alternativas que pone de manifiesto mediante el

Tabla 1  
Contenidos conceptuales, de procedimiento y de actitud incluidos en las situaciones problemáticas de la Unidad Didáctica.

PROBLEMAS	CONCEPTOS	PROCEDIMIENTOS	ACTITUDES
1	Definición de energía. Transformaciones energéticas de determinados procesos: fotosíntesis, digestión, respiración y dieta equilibrada y mixta.	Unidades de las magnitudes físicas, cálculos proporcionales, interpretación de tablas y datos.	Reconocer y valorar la importancia de una buena dieta en términos de calidad de vida: salud/enfermedad y ser conscientes del «gasto energético» asociado a diferentes procesos vitales.
2	Características de la energía, transformaciones energéticas, potencia de los electrodomésticos, contadores eléctricos, limitadores termostatos.	Unidades de energía eléctrica, cálculos numéricos y órdenes de magnitud, interpretación del «recibo de la luz», lectura de gráficos.	Ser conscientes del consumo energético doméstico, analizar el «ahorro energético» y sus aspectos económicos y ambientales, valorar y reflexionar sobre informaciones recogidas en diferentes medios de comunicación acerca de los aspectos abordados en esta tarea.
3	Conservación de la energía, transformaciones energéticas: tipos y características, energía útil y rendimiento en las transformaciones, degradación.	Interpretación y elaboración de diagramas energéticos cualitativos y cuantitativos, cálculos proporcionales e interpretación y utilización de las informaciones que diferentes organizaciones dirigen al «consumidor».	Considerar cómo las transformaciones energéticas deben tender a disminuir las «pérdidas energéticas». Ampliar la idea de ahorro energético relacionándolo con la eficacia de las transformaciones, y fomentar la responsabilidad personal de cara al ahorro de energía en nuestros ámbitos cotidianos.
4	Transferencia de energía, tipos de centrales eléctricas, inducción electromagnética y fuentes de energía.	Elaborar esquemas a partir de imágenes, realizar lecturas de esquemas técnicos o diagramas funcionales, y elaborar diagramas funcionales de procesos.	Favorecer la comprensión de la complejidad de los procesos de producción de energía eléctrica, asumir la existencia de limitaciones «materiales» para disponer de determinado tipo de centrales, despertar la inquietud por el problema de las fuentes energéticas y su agotamiento, y reflexionar y analizar las ventajas y desventajas de las diferentes centrales.

planteamiento de situaciones de conflicto, con la intención de clarificar el marco teórico donde es encuadrada la situación problemática. Llegado este punto, los futuros maestros están en condiciones de realizar una reformulación en términos operativos, lo que puede llevar a planteamientos diferentes por parte de los grupos atendidos por el profesor de forma específica. Es el momento, también, de entregar los distintos materiales preparados por el equipo y que ayudan a resolver el problema (recibos «de la luz», tablas del contenido energético de los alimentos, folletos de las compañías eléctricas, informes oficiales, artículos de prensa, etc.). Para finalizar esta etapa, se realiza una puesta en común donde los estudiantes verbalizan todo el proceso seguido.

En clases sucesivas, y procediendo de forma similar, los grupos deben ir desarrollando las restantes etapas de la MRPI, siempre bajo la supervisión del profesor, hasta obtener una o varias soluciones al problema planteado. Posteriormente, cada alumno de forma individual elabora un informe que utiliza el equipo investigador para analizar su proceso de aprendizaje.

### Instrumentos y técnicas de recogida de datos

Previo a la investigación que se presenta, se realizó un estudio piloto con futuros maestros para obtener información sobre sus posibles respuestas a situaciones problemáticas abiertas centradas en la energía y sus cualidades (Martínez et al., 2005). A partir del análisis de las contestaciones, se establecieron niveles, definidos ad hoc para cada problema por el equipo, según el grado de excelencia de las respuestas (nivel 1 a nivel 4). En el anexo II aparece un ejemplo detallado de los niveles definidos en el problema 2. Con esta información, se ha procedido a categorizar las producciones de la muestra investigada, mediante el procedimiento de la doble corrección.

Obtenidos los datos, y con el fin de contestar a la primera pregunta de la investigación, se ha realizado un análisis cualitativo mediante representaciones gráficas por niveles de contestación. Con el fin de tener una visión más global de lo sucedido, se ha definido un *indicador de logro* para conocer el éxito, en términos comparativos, obtenido por los sujetos en cada uno de los procedimientos científicos que constituyen el modelo de resolución. Su cálculo se efectúa, para el conjunto de los problemas, considerando en cada etapa dos categorías de respuesta: por una parte, la establecida con los niveles 1 y 2 (contestaciones incoherentes) y, por otra, la constituida con los niveles 3 y 4 (contestaciones parcial o totalmente adecuadas). La diferencia entre el número de sujetos adscritos a cada categoría, expresada en porcentaje, nos permite comparar el grado de éxito alcanzado en cada una de las etapas.

Para contestar a la segunda pregunta y contrastar estadísticamente su hipótesis, se han elaborado dos cuestionarios. Estos instrumentos sirven para determinar el conocimiento de los sujetos de la muestra sobre los contenidos curriculares incluidos en la unidad didáctica, antes y después de su desarrollo en el aula (ver anexo III).

Las pruebas se componen de una batería de preguntas cerradas y abiertas, elaboradas por el equipo investigador o recogidas de la bibliografía sobre el tema (CLIS Project, 1987). Hacen relación a cuestiones sobre electrodomésticos (bombilla, secador de pelo), medios de locomoción (bicicletas, automóviles), centrales eléctricas, gasto energético ligado a las actividades físicas, etc. En el campo de los procedimientos científicos los cuestionarios abordan aspectos básicos: realización de diagramas, interpretación de gráficas, cálculo de rendimientos, etc.

Para el posterior análisis de resultados, las respuestas de los alumnos se han categorizado en cuatro niveles de contestación: nivel 1 cuando el alumno no contesta o su aportación es irrelevante; el 2 se adjudica a una contestación incoherente con el marco teórico de la cuestión y/o que presenta un dominio bajo en la destreza evaluada; el 4 se asigna a las respuestas correctas y debidamente justificadas; y por último, el nivel 3 queda reservado para la contestación que incluye sólo algunos de los elementos que configuran la valoración 4. La complejidad de las evaluaciones requiere que, para cada pregunta, los investigadores expresen previamente las características de las valoraciones de acuerdo con la formulación de los contenidos marcados para el curso. En el anexo IV se presentan, a modo de ejemplo, los niveles establecidos para la cuestión relativa a diagramas energéticos.

Una vez adjudicados los niveles a las respuestas de los alumnos, se han construido diagramas cualitativos de tipo Bliss, donde se aprecia la evolución en los contenidos curriculares seleccionados. Estos diagramas son semejantes a los utilizados por Osborne y otros (1990) y por nosotras mismas (Ibáñez y Martínez, 2005), y permiten percibir de forma muy intuitiva la evolución individual de los estudiantes. Una vez analizada dicha evolución, para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas desde el inicio al final del proceso, se ha aplicado la prueba de Wilcoxon, donde la hipótesis nula del estadístico es que no hay diferencias estadísticamente significativas frente a la hipótesis alternativa de que sí las hay.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Primera pregunta de investigación

La cuestión se planteó en los siguientes términos: ¿La utilización de la MRPI permitirá a los futuros maestros mejorar el aprendizaje en los procedimientos científicos involucrados en esta propuesta? Con el fin de responderla, se han analizado un total de 140 informes correspondientes a las cuatro situaciones problemáticas resueltas por los participantes. Para cada una de las etapas del modelo que se corresponden con variables de procedimiento se presentan ejemplos de respuestas dadas por los estudiantes, indicando el nivel adjudicado, y los resultados obtenidos con su discusión.



VI *Análisis cualitativo*. A continuación aparece un ejemplo de respuesta clasificada en el nivel superior. El estudiante es representativo de un tercio de la muestra investigada ya que, como se observa en la figura 2, 11 sujetos se encuentran en esta categoría en el momento de resolver el problema 2.

«1. *Análisis de la situación*. En este problema nos encontramos con dos cuestiones a resolver:

- *Determinar el consumo eléctrico que realizamos en nuestra casa a lo largo de un mes.*
- *Determinar si ese consumo eléctrico (gasto de energía) se encuentra dentro del consumo medio razonable.*

Para intentar resolver la primera cuestión daremos una definición de consumo: *Es el gasto de energía eléctrica a lo largo de un mes. Pero ¿de dónde proviene el consumo eléctrico? Proviene de los aparatos eléctricos que poseemos y que se caracterizan por su potencia y voltaje.*

Para saber el consumo de estos aparatos es necesario saber:

– *La potencia (W) (el nombre proviene de John Watts, inventor de la máquina de vapor).*

– *El tiempo de funcionamiento del aparato.*

– *El consumo calculado como  $E = P \cdot t$  lo expresamos en kWh.*

– *Mediante el contador se mide la energía gastada.*

– *Cuando contratamos la luz en una compañía, lo que realmente estamos haciendo es contratar una potencia determinada. Aquí surge el concepto de limitador de potencia, de tal forma que si utilizamos a la vez una serie de aparatos eléctricos que superan la potencia contratada, el limitador no lo permite y salta.*

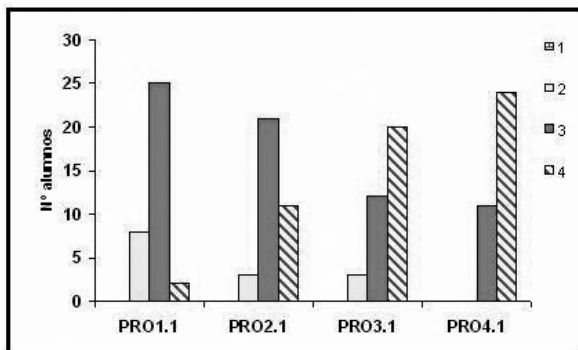
Para poder responder a la segunda cuestión tenemos que formular un criterio de consumo razonable que proviene de la media del consumo eléctrico de todos los miembros de la clase, llegando a formular el siguiente criterio: *consideramos consumo medio razonable por persona durante dos meses 250 kWh.*

2. *Reformulación del problema*. Calculamos el gasto energético que tenemos en casa a lo largo de dos meses.

3. *Restricción*. En la resolución del problema consideramos que el gasto de energía que hemos calculado es una media que nos permitirá realizar una estimación del gasto que realizamos en casa durante dos meses. Para ello multiplicaremos el consumo de un día por 60 para obtener el consumo de dos meses y poder compararlo con la factura de la luz. Tendremos la precaución de realizar las medidas en un día estándar para así mejorar la exactitud de medida y restringir las condiciones».

Desde un punto de vista cuantitativo, un análisis de la figura 2 nos permite afirmar que se ha producido una evolución en el tiempo claramente creciente. Inicialmente sólo había dos alumnos adscritos al nivel superior, 4, y al final del proceso tenemos 24, no apareciendo ninguno en las dos categorías inferiores, es decir, todos los estudiantes han sido capaces de plantear el análisis del problema con una corrección aceptable (niveles 3 y 4).

Figura 2  
Resultados de la variable *Análisis cualitativo*.



El avance detectado es muy relevante, ya que esta etapa del modelo es sumamente importante para la resolución del problema, pues en ella los estudiantes tienen que ser conscientes de la situación que se les plantea y de las concepciones que tienen acerca de la misma, es decir, el análisis les permite construir una representación de la situación, del objetivo a conseguir, de las estrategias a diseñar así como ser conscientes de su dominio del conocimiento necesario (Greeno, 1998).

En cuanto a la comparación con las otras etapas y considerando los problemas en su conjunto, el *indicador de logro* para el *Análisis cualitativo* es de un 80%, el más elevado de todas las variables, tal como veremos a lo largo del apartado. Este dato constituye un éxito importante de la metodología empleada, favorecido, sin duda, por la familiarización del alumnado con los contextos en que están planteados los problemas: alimentación, electrodomésticos, vehículos, producción y consumo eléctrico, etc. (Bennett y Colman, 2002; Chamizo e Izquierdo, 2005; Fortus et al., 2005).

V2. *Emisión de hipótesis*. Con la finalidad de ilustrar la variedad de producciones de los estudiantes a la hora de hacer conjeturas sobre las posibles soluciones, se muestran, para el problema 1, ejemplos de hipótesis que se han categorizado en niveles distintos.

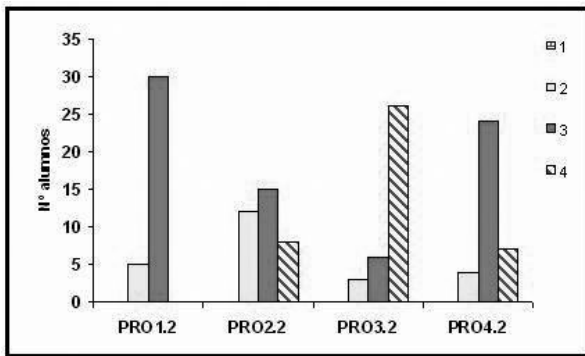
Nivel 2: «*Ver si la dieta realizada es equilibrada teniendo en cuenta las actividades realizadas*». «*Cuando la energía consumida es menor de la gastada te quedas sin recursos*».

Nivel 3: «*Voy a comprobar si mi dieta es equilibrada al gasto de energía de un día*».

Se observa que el estudiante cuya respuesta está categorizada en el nivel 2, representativo de un conjunto de 5 sujetos, tiene dificultad en emitir una conjetura, no sólo desde el punto de vista científico sino incluso en aspectos de redacción. Sin embargo, nos encontramos la respuesta de nivel 3, representativa de un colectivo de 30 estudiantes, que se puede calificar de coherente dentro de la ciencia escolar.

Los resultados obtenidos aparecen en la figura 3, donde se observa una mejora a lo largo del proceso. No obstante, aparece una anomalía en el problema 4 donde disminuye el número de estudiantes que consiguen emitir hipótesis en el máximo nivel. Al final del apartado volveremos sobre este punto.

Figura 3  
Resultados de la variable Emisión de hipótesis.



Un análisis pormenorizado de los datos nos permite afirmar que la capacidad de los alumnos para emitir hipótesis, aspecto fundamental del trabajo científico, presenta un avance importante: con exclusión del último problema, el número de futuros maestros colocados en el máximo nivel de respuesta aumenta de 0 a 26 a lo largo del proceso y un conjunto de 32, del orden del 91%, han elaborado respuestas coherentes. Este dato, unido a un *indicador de logro* del 66%, se puede considerar un buen resultado, excelente si se tiene en cuenta que en trabajos anteriores realizados por el equipo de investigación se ha detectado sistemáticamente la dificultad de los alumnos de secundaria para desarrollar este procedimiento (Varela y Martínez, 1997a y b, Martínez e Ibáñez, 2005). Una explicación la tendríamos al considerar el perfil de mayor edad y maduración de los participantes en esta investigación frente a los citados alumnos, sin olvidar que el 100% de la muestra ha conseguido realizar un *Análisis cualitativo* correcto.

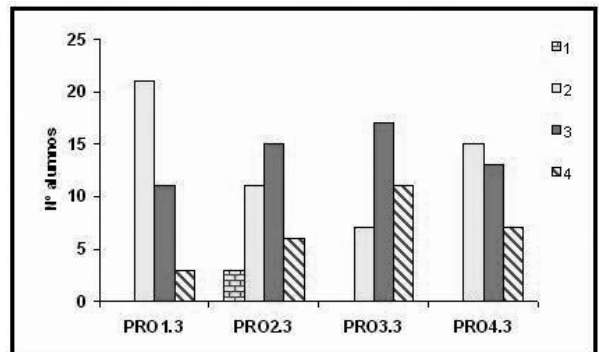
**V3. Diseño de estrategias de resolución.** En esta ocasión se incluye una producción de nivel 2 en el problema 3, alusivo a la conservación de la energía, donde el alumno trata de definir las variables, requisito imprescindible para diseñar la solución.

«Variable dependiente: El rendimiento de la energía.  
Variable independiente: La entrada de energía puede variar. Controlar la variable del tipo de energía útil.  
Variable controlada: La representación gráfica».

La respuesta es representativa de un colectivo de 7 personas que en un momento avanzado del proceso tienen todavía serias dificultades en la identificación de variables, auténtico «obstáculo epistemológico» a la hora de diseñar una posible solución.

El análisis de la figura 4 indica que en el momento inicial (problema 1), se han detectado 21 individuos, del orden del 60%, cuyas respuestas están clasificadas en el nivel 2, lo que representa el peor dato en el conjunto de los problemas. Este número ha ido superándose de forma sensible a lo largo del proceso, un 80% de la muestra se coloca en la categoría de respuesta coherente cuando se analiza el problema 3. Obviamente, de nuevo, el resultado obtenido en el último problema.

Figura 4  
Resultados de la variable Diseño de estrategias de resolución.



No obstante, el progreso logrado se debe, en nuestra opinión, a que el modelo obliga a los alumnos a verbalizar, en términos de variables, el plan a seguir para la resolución del problema indicando claramente el marco teórico en que se desenvuelven, lo que les ha ayudado a dominar este procedimiento con el que obviamente no estaban familiarizados.

Para esta variable, el *indicador de logro* ha sido sólo de un 19%, el más bajo de los obtenidos, lo que revela, de nuevo, la dificultad del alumnado para verbalizar la estrategia a utilizar una vez superadas las etapas anteriores del modelo utilizado.

**V4. Resolución del problema.** En este caso, no se incluyen ejemplos de las resoluciones al no aportar, por su carácter algorítmico, información relevante. El análisis de los resultados pone de manifiesto que se parte de una situación más favorable que en la variable anterior: en el problema 1 tenemos ya 27 sujetos colocados en un nivel de contestación aceptable (nivel 3) pero ninguno de ellos es capaz de realizar una resolución totalmente correcta, siendo un indicador de que también en el dominio de este procedimiento se detectan dificultades que tienen su origen en los cálculos matemáticos, conocimientos científicos, etc. Estas dificultades se mantienen a lo largo del proceso apareciendo de forma muy clara en el ya mencionado problema 4.

Figura 5  
Resultados de la variable *Resolución de problemas*.

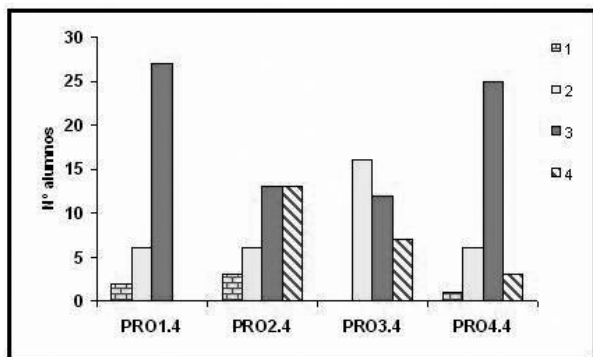
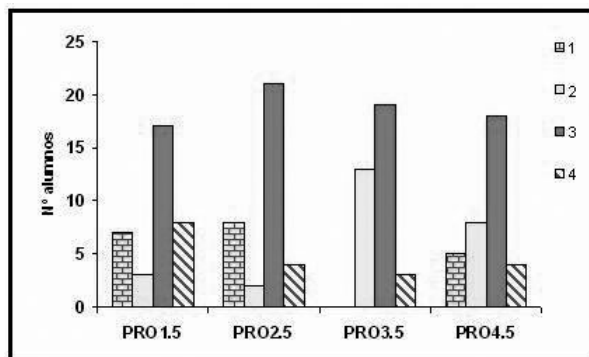


Figura 6  
Resultados de la variable *Análisis de resultados*.



El indicador de logro nos permite de nuevo comparar esta etapa con la anterior. A la hora de *resolver el problema*, la muestra investigada consigue un nivel del 43%, 24 puntos superior al alcanzado cuando tiene que diseñarlo. Este resultado constata, una vez más, que nuestros estudiantes están más acostumbrados a resolver el problema que a verbalizar cómo van a hacerlo, lo que coincide con otras investigaciones que hemos realizado con maestros en formación inicial (Martínez et al., 2001, 2005).

V5. *Análisis de resultados*. Para ilustrar cómo se aborda esta etapa, se incluye una respuesta para el último problema calificada en el nivel 3. El estudiante es un ejemplo del 50% de la muestra que se ha colocado en este nivel de contestación:

*«Una vez comparados los distintos tipos de centrales eléctricas, atendiendo a la fuente primaria de energía utilizada y al proceso seguido para la obtención de corriente eléctrica, afirma que la hipótesis enunciada en un primer momento es cierta. Es decir, existen distintos tipos de energía utilizada. También confirmo la hipótesis de que, a excepción de las centrales solares fotovoltaicas, el proceso seguido es el siguiente:*

- 1) *Distintas reacciones químicas, - Transformando otros tipos de energía →*
- 2) *Se obtiene energía térmica →*
- 3) *Se calienta una sustancia (agua) →*
- 4) *Se genera vapor a gran presión →*
- 5) *El vapor mueve una turbina que genera energía eléctrica.*

*A la salida de las centrales, un transformador lo eleva a alta tensión, la red lo transporta (275.000 o 400.000 voltios), luego se reduce el voltaje en las subestaciones hasta los 220 V que utilizamos en los hogares».*

En esta etapa es donde se ha obtenido la evolución menos relevante a lo largo del proceso. En el primer problema, 7 individuos no analizan los resultados obtenidos en la resolución y 3 lo hacen de forma incorrecta. El número de contestaciones clasificadas en esta categoría se mantiene prácticamente constante a lo largo del proceso: 12 sujetos en la última situación problemática abordada. Una situación similar ocurre con las respuestas incluidas en la categoría superior, incluido el citado problema 4, es decir, los resultados obtenidos en esta tarea no presentan diferencias con respecto al resto.

El indicador de logro del 34%, dato no muy halagüeño, va en la dirección apuntada. Así, consideramos que los estudiantes carecen de criterios para determinar la validez de los resultados obtenidos y realizan análisis muy superficiales (Ramírez et al., 1994; Reif y Larkin, 1991; Pol et al., 2005). En otras investigaciones, hemos obtenido resultados similares para física (Varela y Martínez, 1997a) y genética (Martínez e Ibáñez, 2005). Una posible justificación estaría en el uso en las aulas de problemas cerrados donde el análisis de resultados que se suele realizar y, por tanto el que tienen asumido los estudiantes, poseen unas pretensiones inferiores a las que se demandan en esta propuesta.

En conjunto, las aportaciones aquí realizadas están en la línea de Taconis y otros (2001) que, tras analizar los resultados de las investigaciones en resolución de problemas desde 1985 a 1995, destacan que los mejores resultados en esta tarea se obtienen cuando se estimula la construcción de esquemas conceptuales adecuados, se llevan a cabo procesos de realimentación y puestas en común de los aprendizajes, aspectos todos ellos existentes en la metodología de resolución de problemas con que han trabajado los futuros maestros.

Para terminar, una reflexión sobre los anómalos resultados obtenidos en el problema 4 de enunciado: *¿Qué procesos han tenido lugar para disponer de energía eléctrica en nuestros hogares?* Una posible explicación la podemos encontrar en el hecho de que esta situación, concretada en la producción de energía y su transporte, fue iniciado por los alumnos con planteamientos fundamentalmente bibliográficos, es decir, búsqueda de información sobre centrales eléctricas, transporte eléctrico, distribución, etc. Ello les facilitó el análisis cualitativo de la situación. Sin embargo, el camino emprendido dificultó una emisión de hipótesis operativa creándoles dificultades, posteriormente, para diseñar estrategias concretas y, en consecuencia, resolver y analizar los resultados, evaluando posibles diferencias entre los distintos procesos de producción eléctrica. Además, las fuentes de información utilizadas por el alumnado fueron de muy distinto nivel, complicando sobremanera la evaluación de sus informes que, finalmente, obtuvieron resultados inferiores a los esperados según la evolución que se venía produciendo.



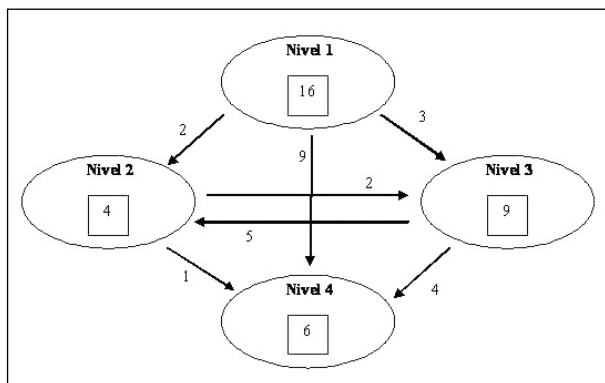
**Segunda pregunta de investigación**

Para contrastar la hipótesis planteada como respuesta a esta cuestión, se procedió a realizar un análisis descriptivo de las contestaciones de los alumnos sobre los contenidos científicos incluidos en los cuestionarios. Los resultados se presentan en las figuras 7 a 12, donde en el cuadro de cada elipse se incluyen los sujetos cuyas contestaciones se encuentran en el correspondiente nivel. Las flechas indican la dirección y el número de estudiantes que han pasado de un nivel a otro a lo largo del proceso. La observación de los diagramas permite realizar el siguiente análisis:

*E1. Consumo energético en electrodomésticos.* En esta cuestión hay que discriminar conceptos de energía y realizar cálculos matemáticos sobre objetos muy conocidos, como bombillas y secadores de pelo. Inicialmente, aparecen 20 alumnos (57%) que no contestan o lo hacen de forma incoherente (niveles 1 y 2). El resultado en la prueba final indica que hay 15 alumnos que contestan correctamente (niveles 3 y 4), lo que conlleva la diferenciación entre energía y potencia y el uso correcto de las unidades. Merece la pena resaltar que 14 alumnos han evolucionado desde niveles inferiores hasta el nivel 4. Este resultado es, sin duda, consecuencia de la atención prestada al estudio de los electrodomésticos, fundamentalmente en el problema 2. *El gasto eléctrico que hacemos en casa, ¿está dentro de la media de consumo?*, donde se familiarizaron con el «recibo de la luz» y documentos sobre consumos energéticos a nivel doméstico. Resulta llamativo que haya 5 estudiantes que tras el proceso de aprendizaje retrocedan del nivel 3, parcialmente satisfactorio, al nivel 2, donde se ubican los alumnos que trabajan en un marco teórico erróneo. Una posible justificación estaría en el tipo de enunciado de la prueba final que incluía un dato relativo al rendimiento energético del proceso, información que fue mal interpretada por los estudiantes a la hora de realizar los cálculos.

Figura 7

Evolución del contenido *Consumo energético en electrodomésticos.*

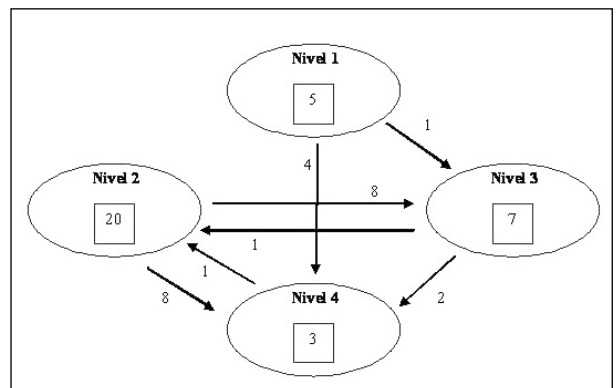


*E2. Balance energético asociado a las actividades humanas.* En la prueba inicial se detectó una gran dificultad para diferenciar el gasto energético ligado a las actividades físicas, de la energía que se puede obtener a través de

la ingesta de los alimentos: 25 alumnos (71%) se ubican en los niveles 1 y 2. No obstante, un 28% resuelven la cuestión con un cierto grado de corrección quizá por la familiarización con el tema de las dietas en el segmento de edad que constituye la muestra. El trabajo realizado a lo largo del problema 1. *¿Qué energía necesitamos y cómo la conseguimos?*, implicando no sólo los aspectos conceptuales sino también la interpretación de tablas de datos y los correspondientes cálculos adaptados a sus características individuales (masa corporal, metabolismo basal, etc.) han permitido que al final del proceso se hayan obtenido unos resultados muy satisfactorios: 29 estudiantes (83%) se colocan en los niveles de respuestas correctas. Hay que destacar los múltiples cambios entre niveles y los dos alumnos que han retrocedido.

Figura 8

Evolución del contenido *Balance energético asociado a las actividades humanas.*



*E3. Construcción de diagramas energéticos.* Los resultados de esta prueba son realmente llamativos. El 100% de los futuros maestros, inicialmente, contestan incorrectamente, destacando que 29 de ellos (83%) ni siquiera responden. Esto indica la enorme dificultad para representar procesos mediante diagramas, aunque sean cualitativos. A results de la secuencia didáctica, especialmente de los problemas 3. *¿Existe alguna transformación energética eficaz al 100%?* y 4. *¿Qué procesos han tenido lugar para disponer de energía eléctrica en nuestros hogares?*, donde se han construido y analizado numerosos diagramas, se ha producido una evolución espectacular. Al final del proceso, no se encuentra ningún alumno en el nivel inferior y 21 de ellos (60%) se colocan en los niveles superiores de contestación.

*E4. Rendimiento en las transformaciones energéticas.* Esta prueba demanda conocer de forma operativa el concepto de rendimiento de un proceso, en concreto, el que se produce en una central eléctrica. Los resultados iniciales presentan una distribución dispersa: los futuros maestros se colocan en los cuatro niveles de contestación encontrándose 15 de ellos (43%) ubicados en los dos niveles superiores, lo que indica un cierto conocimiento del contenido de la cuestión. Este hecho no impide que se haya producido un avance importante: al final del proceso, 31

sujetos (88%) se sitúan en los niveles superiores de contestación, aunque de ellos, sólo 7 consiguen una respuesta óptima. Este último dato se puede explicar analizando el cuestionario final donde se solicitaban diferentes formas para aumentar el rendimiento de una central nuclear y cuya contestación totalmente correcta exigía conocer el funcionamiento de la central, la eficacia de la transformación y la energía degradada en el proceso, todo ello en términos cualitativos y cuantitativos.

ciones gráficas a partir de actividades de naturaleza investigativa.

Familiarizar a los alumnos con la información recogida en forma gráfica se ha contemplado en todas las situaciones problemáticas resueltas. Al final del proceso, 16 alumnos han evolucionado al nivel 3 (46%), es decir, contestan de forma aceptable y tres alumnos (8%) alcanzan el máximo nivel.

Este importante avance podría deberse a que la MRPI ha obligado a los alumnos a reformular los problemas en términos de variables que, después de cuantificar, tienen que representar gráficamente.

Figura 9  
Evolución del contenido *Construcción de diagramas energéticos*.

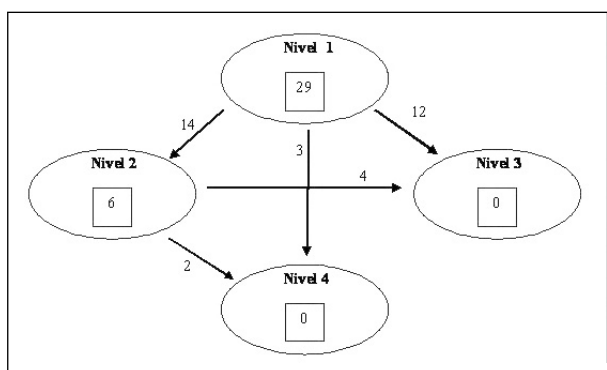
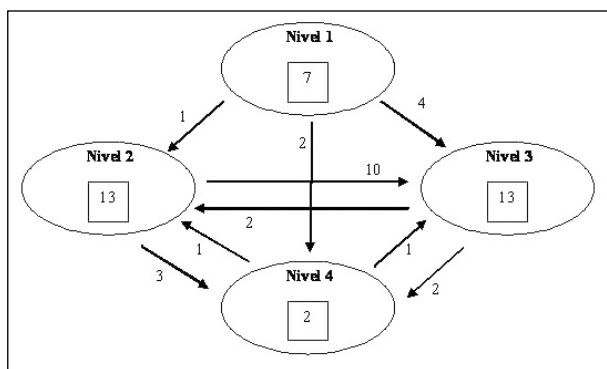


Figura 10  
Evolución del contenido *Rendimiento en las transformaciones energéticas*.

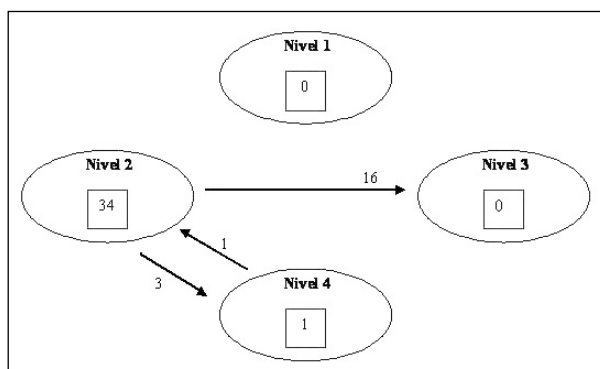


**E.5. Análisis de gráficos del consumo eléctrico doméstico.** Inicialmente todos los estudiantes menos 1, que no responde, contestan a la pregunta de forma incoherente (nivel 2), lo que da una idea de la dificultad del aprendizaje de este procedimiento de gran importancia para la enseñanza de las ciencias. La dificultad de interpretar datos en forma gráfica ya ha sido puesta de manifiesto con profesores de secundaria con formación científica sólida (Bowen y Roth, 2005). Según estos autores, cuya opinión compartimos, el posible origen de este obstáculo estaría en que los fenómenos científicos se presentan al alumnado generalmente en forma matemática, sin darles la oportunidad de que ellos mismos realicen representa-

**E6. Procesos para la obtención de energía eléctrica.** A pesar de que esta cuestión está centrada en un fenómeno conocido, funcionamiento de la dinamo en una bicicleta, inicialmente tenemos 15 alumnos (43%) que no contestan a la cuestión planteada y 19 (54%) que razonan utilizando un marco teórico incoherente. El avance experimentado es espectacular, del mismo orden que el conseguido con E3. Al final del proceso tenemos a 25 estudiantes (71%) que han evolucionado hacia una contestación que consideramos correcta, lo que supone una comprensión aceptable de las transformaciones energéticas que tienen lugar cuando se enciende la luz de una bicicleta. Dado el nivel de exigencia con que se ha corregido la cuestión, entender la dinamo, supone comprender el proceso de obtención de energía eléctrica a partir de energía mecánica, tema abordado ampliamente en el problema 4. *¿Qué procesos han tenido lugar para disponer de energía eléctrica en nuestros hogares?* Hay que destacar que ningún alumno ha retrocedido de nivel al resolver esta prueba.

El análisis cuantitativo realizado con la prueba de Wilcoxon, cuyos valores aparecen en la tabla 2, corroboran los resultados cualitativos presentados. Como se puede observar, se rechaza la hipótesis nula para todos las cuestiones, pudiéndose considerar que existen diferencias estadísticamente significativas, con valores de P muy elevados entre las respuestas sobre contenidos de los

Figura 11  
Evolución del contenido *Análisis de gráficos del consumo eléctrico doméstico*.



estudiantes antes y después del proceso de enseñanza-aprendizaje basado en la resolución de problemas como investigación. En síntesis, podemos afirmar que la hipótesis de nuestra investigación ha sido contrastada.

Figura 12  
Evolución del contenido  
Procesos para la obtención de energía eléctrica.

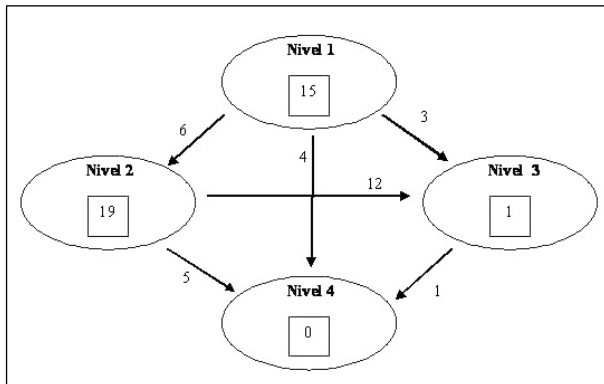


Tabla 2  
Prueba Wilcoxon para determinar diferencias  
en los contenidos curriculares. \*\*\*\*P < 0,0001 \*\*\*P < 0,001

E1	E2 E3	E4 E5	E6
3,744****	3,836**** 5,288****	3,395*** 3,443***	5,011****
E1. Consumo energético en electrodomésticos; E2. Balance energético asociado a actividades humanas; E3. Construcción de diagramas energéticos; E4. Rendimiento en las transformaciones energéticas; E5. Análisis de gráficos del consumo eléctrico doméstico; E6. Procesos para la obtención de energía eléctrica.			

## CONCLUSIONES

El trabajo aquí presentado ha tenido una doble finalidad: estudiar el proceso de aprendizaje de los futuros maestros cuando trabajan con situaciones problemáticas, centradas en el concepto disciplinar de la energía, y evaluar si el proceso ha permitido la evolución deseable del conocimiento de los contenidos científicos involucrados.

A partir de los resultados de esta investigación, vamos a establecer algunas conclusiones apoyando que la unidad didáctica *La energía, una realidad que nos envuelve*, ha resultado ser una herramienta eficaz para nuestros propósitos:

1) Los maestros en formación inicial han mejorado de forma relevante en la utilización de los procedimientos incluidos en la *Metodología de Resolución de Problemas como Investigación*. Además, los indicadores de logro conseguidos nos informan de forma comparada sobre el nivel de éxito de los estudiantes en el dominio de los procedimientos implicados en el modelo propuesto, y que en orden de mayor a menor grado son: *análisis cualitativo, emisión de hipótesis, resolución, análisis de resultados y diseño de estrategias*.

2) Los estudiantes han sido capaces de transferir el aprendizaje de la metodología a los distintos problemas incluidos en la unidad, a pesar de afrontar diferentes contextos sobre la energía y sus cualidades.

3) Los futuros maestros, trabajando con el modelo de resolución de problemas propuesto, han evolucionado hacia visiones más complejas de los contenidos abordados. Esta evolución ha resultado ser estadísticamente muy significativa en todos los aspectos evaluados, destacando el avance obtenido en las cuestiones *E3* y *E6* centradas en la comprensión y representación de procesos descritos en términos de transformación de energía.

Cabe destacar que, tal y como se ha indicado, el problema 4 (producción de energía y su transporte) presentó anomalías en la evaluación de los resultados; sin embargo, una vez contrastado que los contenidos científicos más relacionados con este problema (*E3* y *E6*) han obtenido diferencias estadísticamente significativas al final de la intervención educativa, se podría considerar que estas anomalías se deben más a la aplicación rígida de los criterios de evaluación, establecidos a priori por los investigadores, que a la propia eficacia de la resolución en términos del aprendizaje realizado por los estudiantes.

En síntesis, podemos afirmar que se han cumplido las expectativas que promovieron esta investigación: el modelo con que han trabajado los maestros en formación inicial les ha permitido conseguir una mejora en los aprendizajes sobre los procedimientos incluidos en la propia metodología de resolución de problemas y sobre los contenidos científicos relativos a la energía y sus cualidades.

Para finalizar, nuestra aportación ha pretendido contribuir al desarrollo de una línea de investigación orientada hacia la elaboración de un cuerpo coherente de conocimientos enmarcados en la Didáctica de las Ciencias Experimentales. En este sentido, consideramos que los resultados obtenidos permiten augurar que la MRPI es una alternativa metodológica para la formación inicial de maestros dentro del Espacio Europeo de Educación Superior y con posibilidades de incidir en un futuro próximo en la innovación educativa dentro de las aulas de Primaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APU (Assessment of Performance Unit) (1984). *Science Report for Teacher*, 9. Hertfordshire: ASE.

BENNETT, J. y HOLMAN, J. (2002). Context-based approaches to the teaching of chemistry: what are they and what are their effects?, en Gilbert, J.K. y otros.. *Chemical Education: Towards Research-based practice*. Kluwer. Dordrecht.

BOWEN, G.M. y ROTH, W.M. (2005). Data and graph interpretation practices among preservice science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(10), pp. 1063-1088.

CAMPANARIO, J.M. y OTERO, J. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), pp. 155-169.

CHAMIZO, J.A. e IZQUIERDO, M. (2005). Ciencia en contexto: una reflexión desde la filosofía. *Alambique*, 46, pp. 9-17.

CLIS Project. (1987). *Approaches to teaching energy. Energy and ourselves and Energy for the consumer*. CSSME, University of Leeds.

DOPAZO, A. (2004). *Diseño de situaciones problemáticas abiertas para el desarrollo de la unidad didáctica: «La luz», en sexto de Primaria*. Memoria de investigación del Diploma de Estudios Avanzados. Universidad Complutense de Madrid.

FORTUS, D., KRAJCIK, J., DERSHIMER, R., MARX, R. y MAMLOK-NAAMAN, R. (2005). Design-based science and real-world problem solving. *International Journal of Science Education*, 27(7), pp. 855-879.

FREITAS, I. M., JIMÉNEZ, R. y MELLADO, V. (2004). Solving Physics Problems: The conceptions and practice of an experienced teacher and an inexperienced teacher. *Research in Science Education*, 34(1), pp. 113-133.

GARRETT, R.M. (1988). Resolución de problemas y creatividad: Implicaciones para el currículo de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 6(3), pp. 224-230.

GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education* 5(4), pp. 447-455.

GIL, D., DUMAS-CARRE, A., CAILLOT, M. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1991). Paper and pencil problem solving in the physical sciences as a research activity. *Studies in Science Education*, 18, pp. 137-151.

GREENO, J.G. (1998). The situativity of knowing, learning and research. *American Psychologist*, 53, pp. 5-26.

IBÁÑEZ, M.<sup>a</sup> T. y MARTÍNEZ-AZNAR, M.<sup>a</sup> M. (2005). Solving problems in genetics (II): Conceptual restructuring. *International Journal of Science Education*, 27(12), 1495-1519.

IBÁÑEZ, M.<sup>a</sup> T. y MARTÍNEZ-AZNAR, M.<sup>a</sup> M. (2007). Solving problems in genetics (III): Change in the view of the nature of science. *International Journal of Science Education*, 29(6), 747-769.

INFORME ROCARD. (2007). *Science Education now: A renewed pedagogy for the future of Europe*. European Commission. <http://ec.europa.eu/research/science-society/>.

LIU, X. y McKEOUGH, A. (2005). Developmental growth in students' concept of energy: analysis of selected items from the TIMSS database. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), pp. 493-517.

MARTÍNEZ-AZNAR, M.<sup>a</sup> M. (2006). La energía, una «idea» que nos envuelve y que podemos investigar resolviendo situaciones problemáticas, en García, C. (dir.). *Descubrir, investigar, experimentar: iniciación a las ciencias*. Aulas de Verano. Instituto Superior de Formación del Profesorado. Madrid: MEC.

MARTÍNEZ-AZNAR, M.<sup>a</sup> M. y VARELA, M.<sup>a</sup> P. (1996). De la resolución de problemas al cambio conceptual. *Investigación en la Escuela* 28, pp. 69-78.

MARTÍNEZ-AZNAR, M.<sup>a</sup> M. y VARELA, M.<sup>a</sup> P. (1997). *Influencia de las diferencias individuales en la resolución de problemas abiertos de Física*, en Beltrán (eds.). Nuevas perspectivas en la intervención psicopedagógica: I. Aspectos cognitivos, motivacionales y contextuales. Madrid: UCM.

MARTÍNEZ-AZNAR, M.<sup>a</sup> M. y OVEJERO, P. (1997). Resolver el problema abierto: «Teñir lanas a partir de productos colorantes naturales». Una actividad investigativa para la enseñanza obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), pp. 401-422.

MARTÍNEZ-AZNAR, M.<sup>a</sup> M., VARELA, M.<sup>a</sup> P., BARCENA, A. e IBÁÑEZ, M.<sup>a</sup> T. (2001). *Herencia, Biomasa y Energía. Tres campos para investigar resolviendo problemas*. Simposio. VI Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias. Barcelona.

MARTÍNEZ-AZNAR, M.<sup>a</sup> M. e IBÁÑEZ, M.<sup>a</sup> T. (2005). Solving problems in genetics. *International Journal of Science Education*, 27(1), pp. 101-121.

MARTÍNEZ-AZNAR, M.<sup>a</sup> M., VARELA, M.<sup>a</sup> P., IBÁÑEZ, M.<sup>a</sup> T. y ROSA, D. (2005). *La resolución de problemas en la formación del profesorado. Un punto de partida para «la solución» del problema de cómo enseñar*. Simposio: *Generar y resolver situaciones problemáticas: del aula al entorno*. VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias. Granada (Spain).

MARTÍNEZ-AZNAR, M.<sup>a</sup> M. e IBÁÑEZ, M.<sup>a</sup> T. (2006). Resolver situaciones problemáticas en genética para modificar las actitudes relacionadas con la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), pp. 193-206.

OSBORNE, R., BLACK, P. SMITH, M. y MEADOWS, J. (1990). *Light. Primary Space Project, Science processes and Concept Exploration*. Research Report, Liverpool University Press.

PÉREZ DE LANDAZÁBAL, M.<sup>a</sup> C., FAVIERES, A., MARIQUE, M.<sup>a</sup> J. y VARELA, M.<sup>a</sup> P. (1995). La energía como diseño curricular de la física. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), pp. 55-65.

POL, H., HARSKAMP, E. y SUHRE, C. (2005). Solving physics problems with the help of computer assisted instruction. *International Journal of Science Education*, 27(4), pp. 451-469.

- PROPHY: CAILLOT, M. y DUMAS-CARRÈ, A. (1987) Un enseignement de une méthodologie de résolution de problèmes. *Rapports de Recherches* 12, pp. 199-224. París: INPR.
- RAMÍREZ, J.L.; GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1994). *La resolución de problemas de física y de química como investigación*. Madrid, MEC.
- REIF, F. y LARKIN, J. (1991). Cognition in scientific everyday domains: comparison and learning implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), pp. 733-760.
- SOLBES, J. y TARÍN, F. (2004). La conservación de la energía: un principio de toda la física. Una propuesta y unos resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), pp. 185-194.
- SUMMERS, M., KRUGER, C., MANT J. y CHILDS, A. (1998). Developing primary teachers' understanding of energy efficiency. *Educational Research*, 40(3), pp. 311-328.
- TACONIS, E., FERGUSON-HESSLER, M. y BROEKKAMP, H. (2001). Teaching science problem solving: an overview of experimental work. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(4), pp. 442-468.
- TOBIN, K., TIPPINS, D.J. y GALLARD, A.J. (1994). Research on instructional strategies for teaching science, en Gabel, D. (ed.). *Handbook of research on science teaching and learning*, pp. 3-44. Nueva York: Macmillan.
- VARELA, M.<sup>a</sup> P., FAVIERES, A. MANRIQUE, M.<sup>a</sup> J. y P. LANDAZÁBAL, M.<sup>a</sup> C. (1995). ¿Cómo construyen los estudiantes el concepto *energía*? Una aproximación cualitativa. *Revista de Educación*, 307, pp. 381-398.
- VARELA, M.<sup>a</sup> P. y MARTÍNEZ-AZNAR, M.<sup>a</sup> M. (1997a). Una estrategia de cambio conceptual en la enseñanza de la Física: La resolución de problemas como actividad de investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), pp. 173-188.
- VARELA, M.<sup>a</sup> P. y MARTÍNEZ-AZNAR, M.<sup>a</sup> M. (1997b). Investigar y aprender resolviendo problemas de Física. *Revista Española de Física*, 11(2), pp. 32-37.
- ZION, M., MICHALSKY, Y. y ZEMIRA, R. (2005). The effects of metacognitive instruction embedded within an asynchronous learning network on scientific inquiry skills. *International Journal of Science Education*, 27(8), pp. 957-983.

[Artículo recibido en abril de 2007 y aceptado en enero de 2008]



## ANEXO I

## Modelo de resolución

**Problema 2: El gasto eléctrico que hacemos en casa, ¿está dentro de la media de consumo?**

Se dispone de materiales tales como: recibos de la luz, artículos de periódico referentes al consumo medio de la población española, eficiencia de los electrodomésticos, publicaciones de compañías eléctricas, informes de organismos oficiales, etc.

*V1. Análisis cualitativo*

– Comprensión y representación del problema. Los alumnos comenzarán por considerar una serie de aspectos: 1) La energía como producto de la potencia por el tiempo. 2) Los aparatos eléctricos transforman energía eléctrica en otro tipo de energía. Se caracterizan por su potencia y voltaje y en su consumo hay que considerar el tiempo de funcionamiento. 3) En nuestras casas disponemos de un contador que mide la energía eléctrica consumida acompañado de un limitador de acuerdo con la potencia contratada y 4) Las compañías eléctricas proporcionan un perfil o historial del consumo que nos proporciona la media del gasto anual.

En esta etapa se deberá llegar a algún tipo de consenso sobre qué consumo medio seleccionar. Además del dato sobre la población española, se puede adoptar el criterio de media de la clase a partir de la facturación de los recibos de la luz (ponderados con distintos criterios) o media de la Unión Europea.

– Reformulación del problema. Después del análisis, un enunciado operativo del problema sería, por ejemplo: «Calcular el gasto energético que tenemos en casa y compararlo con la media acordada por consenso».

– Restricciones. Las más usuales serían: 1) Cuando un aparato dispone de diferentes programas, se considera su consumo como el valor medio. Ante la imposibilidad de contabilizar (realizar empíricamente) el consumo eléctrico de los hogares durante tiempos dilatados, se podrá aceptar la media temporal de dos días y extrapolarla al periodo de facturación, y 2) Dada la dispersión de datos que se pueden aportar en las clases, se puede trabajar con un solo recibo (familia estándar de cuatro personas).

*V2. Emisión de hipótesis*

Un planteamiento podría ser: el consumo energético de mi casa está en un intervalo aceptable alrededor del «consumo medio» adoptado en la clase. Lógicamente se puede enunciar también la hipótesis negativa.

*V3. Diseño de estrategias de resolución*

Se deberán identificar las variables que intervienen en el problema: tiempo de funcionamiento (independiente), gasto energético (dependiente) y potencia del aparato (control). Los alumnos tendrán que leer en sus domicilios las especificaciones de los electrodomésticos (lectura de las placas para identificar la potencia) y medir el tiempo de funcionamiento en dos días diferentes: laboral y festivo. Esta tarea es importante porque permite interpretar la información que aparece en los electrodomésticos en términos de magnitudes físicas y considerar cómo los electrodomésticos tienen diferentes características que afectan al consumo.

Se planteará calcular el gasto energético doméstico, primero por días y luego en dos meses. En este caso concreto se puede proceder a una comprobación individual previa: el gasto calculado tiene que aproximarse a la media del último año suministrado por la compañía eléctrica. Por último, hay que tomar decisiones sobre el «consumo medio» para proceder a la resolución.

*V4. Resolución*

Se realizarán los pasos descritos en el diseño construyendo la correspondiente tabla con los datos recogidos.

*V5. Análisis de resultados*

En primer lugar, se comparará el gasto total con la estadística anual del recibo de cada estudiante. En caso de discrepancia grave, hay que revisar la toma de datos.

En el marco de la hipótesis planteada, se comparará el gasto mensual con el que resulta de aplicar el criterio de «consumo medio» decidido en la clase. Se puede calcular el índice de desviación de cada estudiante para analizar posibles discrepancias y sacar conclusiones. Cabe la posibilidad de realizar un análisis económico en euros.

Por último, pueden realizarse algunas reflexiones sobre aparatos de «alto consumo», como aumentar la eficiencia de algunas de las transformaciones (problemas de aislamiento), implicaciones de tipo medioambiental, etc.

## ANEXO II

## Niveles de corrección establecidos para las variables del problema 2

*El gasto eléctrico que hacemos en casa, ¿está dentro de la media de consumo?*

Para cualquier variable el Nivel 1. No contestan o sus aportaciones no son relevantes.

*MV1. Análisis cualitativo*

Nivel 2. Definen la energía en términos mecánicos. No reconocen las especificaciones técnicas de los electrodomésticos. No introducen el kWh como unidad de energía.

Nivel 3. Definen la potencia como energía por tiempo y la identifican como una característica de los aparatos. Reformulan adecuadamente el problema.

Nivel 4. Además de los requisitos del nivel anterior, plantean la necesidad de tomar un criterio de «consumo medio». Consideran restricciones. Aparecen los conceptos de contador eléctrico y limitador.

*MV2. Emisión de hipótesis*

Nivel 2. Plantean una hipótesis incoherente con el problema, con lo que su contraste no conduciría a su resolución.

Nivel 3. Realizan un enunciado coherente con el análisis cualitativo realizado pero no lo expresan en términos de hipótesis.

Nivel 4. Además de los requisitos del nivel anterior, la redacta correctamente.

*MV3. Diseño de estrategias de resolución*

Nivel 2. Identifican erróneamente las variables por lo que el diseño propuesto es incorrecto.

Nivel 3. Definen adecuadamente las variables *dependiente e independiente*. Plantean los cálculos a realizar.

Nivel 4. Además de los requisitos del nivel anterior, identifican la variable de *control*. Plantean la necesidad de comparar con el «recibo de la luz» y con el criterio de consumo medio previamente consensuado.

*MV4. Resolución*

Nivel 2. Desarrollan, a partir del diseño erróneo propuesto (Nivel 2 de MV3), una resolución errónea.

Nivel 3. Con el planteamiento del diseño del Nivel 3, MV3, construyen una tabla adecuada y obtienen un resultado para su consumo.

Nivel 4. Con el planteamiento del diseño del Nivel 4, MV3, además de los requisitos incluidos en el nivel anterior, comparan su resultado con sus recibos y con el criterio de consumo medio adoptado.

*MV5. Análisis de resultados*

Nivel 2. No revisan los resultados en base a las hipótesis. No analizan regularidades ni establecen comparaciones.

Nivel 3. Analizan el resultado dentro del marco teórico y de la hipótesis planteada.

Nivel 4. Además de los requisitos del nivel anterior, calculan el índice de desviación de su gasto en relación con el criterio de consumo medio asumido. Expresan valoraciones personales.

ANEXO III

Cuestionarios

INICIAL	FINAL
<p><b>E1:</b> El gasto energético de una bombilla de 60 W a 220 V, encendida durante 20 horas es de: a) 3 kWh, b) 1,2 kWh c) 44 kWh d) 11 kWh Justifica tu respuesta.</p>	<p><b>E1:</b> Si el rendimiento energético de un secador de pelo eléctrico es del 65% y su potencia 1.200 W, ¿cuál sería su gasto energético si está funcionando veinte minutos?</p>
<p><b>E2:</b> Has jugado un partido de tenis de una hora y quieres recuperar dicho gasto tomando únicamente leche. ¿Qué volumen de leche tendrás que beber? (Valor energético de la leche. 69 kcal/100 mL; gasto energético de jugar al tenis. 7 kcal/min por cada kg de masa corporal).</p>	<p><b>E2:</b> Has jugado un partido de tenis de una hora y quieres recuperar dicho gasto tomando únicamente cacahuetes. ¿Qué cantidad de cacahuetes tendrás que comer? (Valor energético de los cacahuetes: 548 kcal/100 g; gasto energético de jugar al tenis. 7 kcal/min por cada kg de masa corporal).</p>
<p><b>E3:</b> Explica el funcionamiento de un secador de pelo eléctrico indicando las transformaciones energéticas que se producen. Haz un diagrama cualitativo del proceso.</p>	<p><b>E3:</b> Si el rendimiento energético de un secador de pelo eléctrico es del 65% y su potencia 1.200 W, ¿cuál sería el diagrama cuantitativo energético de las transformaciones?</p>
<p><b>E4:</b> Una central nuclear tiene un rendimiento del 60%. Esto quiere decir que: a) No se utiliza el 60% de la energía suministrada a la central b) El 40% del combustible se transforma en productos radiactivos c) El 40% de la energía suministrada se transforma fundamentalmente en energía térmica d) La central tiene que ser reparada por deficiencias graves en su funcionamiento Justifica tu respuesta.</p>	<p><b>E4:</b> Sabiendo que una central nuclear tiene un rendimiento del 60%. a) ¿Qué significa este dato? b) Indica dos formas para aumentar dicho rendimiento.</p>
<p><b>E5:</b> El gráfico de la figura muestra la cantidad de energía eléctrica gastada en hervir el agua de un cazo eléctrico. Dicha energía se ha medido por el número de kWh señalado en el contador. a) ¿Cuántos segundos tarda el contador en avanzar 0,10 kWh? b) ¿Cuánto ha avanzado el contador en 50 segundos? c) ¿Cuál es el gasto total en kWh cuando el agua comienza a hervir? d) A partir de los datos que aparecen en el recibo de la luz, calcula cuánto cuesta hervir el agua del cazo. e) ¿Cuánto tarda en hervir el agua del cazo?</p>	
<p><b>E6:</b> Explica el proceso en términos de transformaciones de energía por el cual se enciende el faro de la bicicleta cuando circulamos por la noche. Indica los componentes imprescindibles para ello.</p>	

ANEXO IV

Niveles de corrección establecidos para el ítem *Construcción de diagramas energéticos. Prueba inicial.*

*Explica el funcionamiento de un secador eléctrico de pelo indicando las transformaciones energéticas que se producen. Haz un diagrama cualitativo del proceso.*

Nivel 1. No contestan o sus aportaciones no son relevantes.

Nivel 2. Dan explicaciones incoherentes. No realizan el diagrama, o el realizado no responde al proceso de transformación.

Nivel 3. Dan explicaciones incompletas de acuerdo con su diagrama que dibujan con una entrada que representa la energía eléctrica y una salida donde sólo se reconoce una forma de energía, usualmente mecánica o térmica. Se admiten distintos tipos de representaciones.

Nivel 4. Dan explicaciones completas y su diagrama representa en la entrada la energía eléctrica, y en la salida se identifican tres tipos de energía: mecánica, térmica y sonora.

## Open problem solving on energy for training prospective primary school

MARTÍNEZ AZNAR, MARÍA MERCEDES<sup>1</sup> y VARELA NIETO, MARÍA PALOMA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Educación-Centro de Formación del Profesorado.

<sup>2</sup> Universidad Complutense de Madrid

mtzaznar@edu.ucm.es

varelap@edu.ucm.es

### Summary

This research aims to test the effectiveness of using the Methodology of Problem Solving as an Investigation (MPSI) approach to teach accordance the science curriculum of prospective primary school teachers, in accord with European Higher Education Area (EHEA) principles.

This model is grounded in philosophical, epistemological and pedagogical foundations. It is based on the comparison of scientific work on solving these «problems» as presented in the framework of activities and procedures used in science classes (physics, chemistry and biology) where students learn how to «solve problems» on their own. The proposal includes five stages: qualitative analysis of the problem, emission of hypothesis, design of resolution strategy, resolution and analysis of results.

The target of study is based on two questions:

- ¿La utilización de la MPSI permitirá a los futuros maestros mejorar el aprendizaje en los procedimientos científicos involucrados en esta propuesta?, y
- ¿La utilización de la MPSI favorecerá la evolución de los contenidos científicos de los estudiantes hacia planteamientos más complejos y próximos a los mantenidos por la comunidad científica? This question as hypothesis states, as follows: Continuous work with Methodology of Problem Solving as an Investigation will offer students, at the end of the process, favourable and significant differences regarding the level of initially detected knowledge.

The sample, made up of 35 individuals, can be considered a random group, drawn from a group of students in a standard class in the Faculty of Education of Complutense University of Madrid. The students were in their first year of studies to become teachers and were 19.2 years-old on average.

Research began with the design of a didactic unit, «Energy, a Reality that Surrounds Us», composed of four open problematic situations. The problems encourage the introduction of an STS focus (science-technology-society) and include curricular contents on energy: transformation, conservation and degradation, which are the most important aspects in building this concept.

The instruments used and the procedures for the technical collection of data to compare hypotheses are described as follows:

- To study the evolution in learning to resolve open problems, question one, an analysis was made of the productions of the 35 students working each of the four problems

in the didactic unit. In each problem, the five methodological variables that define the resolution pattern are evaluated according to degree of accuracy and the thoroughness of the answers. The variables have been qualified in four levels from 1 (incoherent answer) to 4 (appropriate answer adapted within the scope of school science).

-The initial and final questionnaires, used to check the hypothesis (question two), ultimately sought to determine the sample group's knowledge on the curricular contents included in the didactic unit with regard to the conceptual field and procedures. The questionnaires were comprised of a battery of closed and open questions written for this purpose by the investigating team and/or collected from the bibliography on the topic.

Based on the results of this investigation some conclusions can be made in support of the didactic unit «Energy, a Reality that Surrounds Us», which has turned out to be an effective tool for our purposes.

1) While working on the unit, the students have improved significantly in the application of the procedures corresponding to the MPSI and obtained better resolution levels with respect to the methodological variables: qualitative analysis, hypothesis emission, design of strategies and resolution.

2) The students have been able to transfer learning from the methodology to the different open problems included in the unit despite having to work with different conceptual fields on energy and its qualities.

3) The future teachers working with MPSI have evolved toward more complex visions of the studied contents. This evolution has turned out to be statistically very significant in all the aspects considered in the didactic unit: energy consumption in appliances, energy balance associated to human activities, construction of energy diagrams, efficiency in energy transformations, analysis of graphics of domestic electric consumption and processes for obtaining electric power.

In summary, we can affirm that the pattern proposed to the teachers in preservice studies, that is, solving problems with open statements, improved their learning of procedures included in methodology and in scientific contents on energy.

On the other hand, our contribution has sought to contribute to the development of a line of investigation directed toward the elaboration of a coherent body of knowledge creation in Science Education, the priorities of which is to investigate work methodologies designed for students to attain significant and autonomous learning.

