



Resolución de problemas abiertos en ecología para la ESO

Problem-solving in Ecology for Secondary Education

David Rosa Novalbos, M^a Mercedes Martínez-Aznar
Departamento de Didáctica de Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas
Facultad de Educación - Centro de Formación del Profesorado
Universidad Complutense de Madrid
darosa@ucm.es, mtzaznar@ucm.es

RESUMEN • Esta investigación de tipo cuasiexperimental se basa en la metodología indagativa MRPI (metodología de resolución de problemas como investigación) para el aprendizaje de la ecología con escolares de 13-14 años (2.º de ESO). Se diseñó e implementó una unidad didáctica centrada en situaciones problemáticas abiertas contextualizadas. A partir de las resoluciones se analizaron los aprendizajes en términos competenciales para el grupo experimental y se compararon los logros conseguidos en la resolución de un ejercicio cerrado con los de un grupo control que siguió un enfoque más tradicional de enseñanza. El grupo experimental alcanzó un nivel óptimo en todas las dimensiones de la competencia científica presentes en la MRPI y afrontaron los problemas cerrados de forma más metódica y completa que el grupo control.

PALABRAS CLAVE: Competencia científica; Metodología de resolución de problemas por investigación (MRPI); Problemas cerrados; Ecología; Educación Secundaria Obligatoria.

ABSTRACT • This quasi-experimental research is based on the so-called PSMR, known as Problem-Solving Method as Research, for students aged between 13 and 14 in Ecology (2nd course of Secondary School). For that purpose, a unit focused on the resolution of contextualized open-ended problems was designed. Drawing on the reports studied, the learning outcomes from the experimental group in competence dimensions was analyzed when dealing with the solution of a closed exercise and was later compared to those students who were instructed by means of traditional methodology. The data collected highlight that the experimental group reached optimum levels in all the dimensions of the scientific competence by solving those ecological problems in a more complete and methodical way than those of the control group.

KEYWORDS: Scientific competence; Problem-solving method as research (PSMR); Closed problem; Ecology; Secondary Education.

Recepción: diciembre 2017 • Aceptación: octubre 2018 • Publicación: junio 2019

INTRODUCCIÓN

Actualmente se ha puesto de manifiesto la necesidad de plantear la enseñanza de las ciencias mediante metodologías de tipo inductivo o indagativo (Inquiry-Based-Science Education, IBSE, en inglés). La intención es mejorarla, aumentar el interés de los ciudadanos hacia la ciencia (Rocard *et al.*, 2007), posibilitar aprendizajes escolares significativos y fomentar la motivación del profesorado (Harlen, 2013).

La indagación ya se introdujo de forma pionera en los currículos escolares en Estados Unidos y continúa haciéndose (Roesch, Nerb y Riess, 2015) por su eficacia probada en la formación científica de los ciudadanos en diferentes países (Abd-El-Khalick *et al.*, 2004). En nuestro contexto está presente desde la reforma de la LOGSE (MEC, 1990).

A pesar de ello, aún es escasa la utilización del IBSE entre el profesorado, en parte debido al desconocimiento de estas prácticas y de los resultados empíricos de las investigaciones que la avalan, así como a la falta de recursos para su aplicación en las aulas. En este sentido, la presente investigación hace una aportación que posibilitaría que los docentes desarrollaran una unidad didáctica centrada en la resolución de problemas abiertos de ecología, válida para escolares de 13 y 14 años (2.º de ESO).

MARCO TEÓRICO

Las metodologías indagativas implican enfrentar a los estudiantes a retos para cuya resolución no disponen de conocimientos apropiados y que deberán construirlos para resolverlos, trabajando cooperativamente y con la guía del profesorado (Rocard *et al.*, 2007). Estos modelos son opuestos a los basados en la instrucción denominados expositivos, tradicionales o deductivos.

En los enfoques IBSE, el basado en la resolución de problemas (Problem-Based Education, PBE) es uno de los más reconocidos (Prince y Felder, 2007). Aunque su origen se podría situar en Sócrates, tal y como se entiende actualmente se remonta a la década de los cincuenta del siglo pasado y se asocia a los estudios de medicina (Rhem, 1998) según la tradición de Kilpatrick (1918) y Dewey (1938), pero en la educación científica se comenzó a investigar mucho antes que en la educación médica (Wong y Day, 2009). Posteriormente se extendió a la educación superior, la educación básica y la formación de profesores (Savery, 2006).

Actualmente la PBE incluye metodologías extendidas a diversas disciplinas y poblaciones de estudiantes (Hmelo-Silver, 2012) y está ganando popularidad en currículos escolares como el español y el estadounidense (Pecore, 2013; Cervelló, 2009). No obstante, ciertas características de estas metodologías generan reticencias en el profesorado que impiden su utilización en la práctica docente (Prince y Felder, 2007), pues suponen un tiempo de planificación extenso y un cambio en su rol tradicional. Además, puede conllevar una gran resistencia del alumnado por el tiempo de resolución y la responsabilidad que implica (English y Kitsantas, 2013).

Para esta investigación se asume la metodología de resolución de problemas por investigación (MRPI). Sus fases se corresponden con dimensiones de la competencia científica (DC) y de su análisis se puede determinar el nivel de desarrollo competencial que alcanzan los estudiantes tras la enseñanza-aprendizaje. Estas dimensiones son (Rodríguez Arteche, Martínez Aznar y Garaigoitia Cid, 2016; Pavón y Martínez Aznar, 2014):

DC 1: Análisis cualitativo de la situación problemática. Contempla la identificación y operativización del problema sobre la base del marco teórico de la situación problemática (SP) y posibilita la explicitación de las concepciones alternativas.

DC 2: Formulación de hipótesis. Evidencia la capacidad para establecer predicciones, explicaciones tentativas o posibles soluciones para la SP.

DC 3: Diseño de la estrategia de resolución. Implica la identificación y el control de variables y la toma de decisiones para resolver la SP.

DC 4: Resolución de la situación problemática. Considera la destreza de seguir el plan trazado (DC 3) por medio de la observación, la experimentación y la recogida de información.

DC 5: Análisis de resultados. Supone examinar los resultados obtenidos en DC 4, interpretarlos a la luz del marco teórico construido y de la hipótesis planteada, extraer conclusiones y argumentar y comunicar dichas conclusiones.

La MRPI cuenta con una larga trayectoria investigativa que garantiza su eficacia para el aprendizaje de diversas áreas y contenidos científicos y en diferentes niveles educativos, como en el caso de la ecología de esta investigación (Rosa, 2015).

El estudio de la ecología se incluye en los currículos escolares por su gran carga emotiva al estudiar la naturaleza y a otros seres vivos, así como su candente actualidad, al tratar problemas ambientales, pudiendo influir en la motivación del alumnado (González y Puig, 2017).

La ecología es una ciencia empírica que se ocupa de investigar los ecosistemas, es decir, estudia las interacciones entre los seres vivos y su ambiente. En ella coexisten diferentes paradigmas, distintas teorías provisionales, variadas visiones del mundo y promueve largos debates sobre sus teorías y metodologías (Korfiatis, 2005). Sus hipótesis son provisionales tanto en el ámbito científico como en el educativo (González del Solar y Marone, 2001). Todo ello contribuye a la complejidad que tiene su tratamiento escolar (Bermúdez y De Longhi, 2008).

La dificultad de su estudio variará, según Begon, Harper y Townsend (1988), en función del nivel de organización (organismos, poblaciones, comunidades, ecología del paisaje, biomas, biosfera, ecosfera). También viene determinada por la comprensión de sus conceptos relevantes, como las múltiples conexiones existentes en los ecosistemas, el equilibrio dinámico de los sistemas biológicos, el contexto y la escala en los que ocurren los procesos ecosistémicos y en los que se estructuran, y la complejidad e incertidumbre resultantes de las relaciones emergentes entre las partes que los constituyen (Hogan, 2002). Las investigaciones en ecología parecen apoyar la idea de que los conceptos relacionados con observaciones a largo plazo y el tamaño de las muestras tomadas al azar en los sistemas biológicos son muy complejos y abstractos (Arnold, Kremer y Mayer, 2013).

Además, los contenidos de ecología requieren la integración de la mayoría de conocimientos tratados en el área de Ciencias de la Naturaleza de los cursos iniciales de ESO, lo que dificulta su comprensión. También incluyen conocimientos estructurantes (sistema, interacción, organización, diversidad, etc.) útiles a otras disciplinas, necesarios para la abstracción. Esta complejidad de los conceptos, aunque sean conocidos por los alumnos, se ha comprobado que dificulta su aplicación y utilización en sus argumentaciones en situaciones problemáticas contextualizadas (Bravo y Jiménez Aleixandre, 2010).

Más allá de esto, la ecología incluye conocimientos importantes para la comprensión del mundo y sus complejas relaciones, muy relevantes en la formación de los estudiantes (Simonneaux, 2001). Estos contenidos complementarán la transversalidad de la Educación Ambiental.

Además, potencia la construcción de valores éticos (España y Prieto, 2009), actitudes y comportamientos ambientalmente correctos para favorecer una salud ambiental y social (Cañal de León, 2004). Así, el tratamiento de las situaciones problemáticas de ecología favorece la formación crítica frente a los problemas ambientales.

Por tanto, esta investigación considera que el adecuado tratamiento de la ecología con metodologías basadas en el cambio conceptual mediante la resolución de problemas, como la MRPI, favorecerá en gran medida la evolución de las concepciones de los alumnos hacia una perspectiva más compleja, global y madura del mundo que les permita comprender la realidad en la que viven y desarrollar valores, actitudes y comportamientos más adecuados y responsables con el ambiente.

OBJETIVOS

Este trabajo se centra en dar respuesta a dos interrogantes:

- ¿Aprenderán los estudiantes del grupo experimental los procedimientos de la MRPI, trabajados en la resolución de situaciones problemáticas, permitiéndoles alcanzar niveles altos de resolución en cada una de las dimensiones de la competencia científica?
- ¿Existirán diferencias en la resolución de problemas en una prueba de examen en el nivel de 2.º de ESO entre el grupo experimental y el grupo control que han seguido metodologías diferentes?

PARTICIPANTES

La muestra la constituyen un grupo experimental (GEXP) y otro de control (GCON), ambos intactos, de la totalidad de los estudiantes de la asignatura de Ciencias de la Naturaleza del IES Gabriel García Márquez de Madrid, a cargo de dos profesores, el investigador y el que desempeña las funciones de control. La exigencia de disponer de la información requerida de los estudiantes y en los plazos establecidos determina que el grupo experimental y el de control, ambos de carácter incidental, lo formen 28 (13 hombres y 15 mujeres, de edad media 13,5 años) y 58 (31 hombres y 27 mujeres, de edad media 13,6 años) alumnos respectivamente.

El contexto social de la muestra se considera de clase media con elevada población joven y no ha sido seleccionada bajo ningún criterio, por lo que se considera estándar o prototipo de cualquier centro educativo español urbano.

METODOLOGÍA

Esta investigación se engloba en el paradigma investigación-acción donde el profesor juega el doble papel de profesor-investigador y sigue un diseño cuasiexperimental utilizando técnicas de análisis cualitativas y cuantitativas.

Para responder a la primera pregunta de investigación, se aplica un análisis de tipo cualitativo para el proceso de interpretar y valorar los razonamientos e ideas de los estudiantes durante la resolución de las situaciones problemáticas mediante la MRPI, y uno cuantitativo para identificar los aprendizajes logrados en relación con las dimensiones competenciales propias de la metodología de resolución de problemas utilizada.

Para la segunda pregunta que compara estadísticamente los resultados de aprendizaje de las dos submuestras se contrasta la hipótesis: *Existen diferencias estadísticamente significativas en la resolución de problemas en una prueba de examen de ecología a favor del GEXP que ha trabajado con la MRPI respecto al GCON que lo ha hecho con una metodología tradicional*. En este caso, aunque se contó con la totalidad de los escolares de la asignatura de Ciencias de la Naturaleza del centro y, *a priori*, se podía suponer la homogeneidad entre las submuestras en cuanto a los conocimientos conceptuales iniciales sobre el tema investigado y los procedimientos implicados en la MRPI no se habían abordado con anterioridad, se llevó a cabo un análisis estadístico para su confirmación. Se utilizó un cuestionario inicial sobre las concepciones alternativas cuyo análisis mediante la U de Mann-Whitney mostró homogeneidad en las respuestas obtenidas para todas las preguntas (Rosa, 2015).

Además, el examen de ecología para contrastar la hipótesis fue diseñado, exclusivamente, por la profesora del grupo de control según sus criterios y sin la colaboración del profesor-investigador.

El desarrollo de la investigación requirió de la total coordinación, por parte de los profesores del GEXP y el GCON, sobre los aspectos implementados (contenidos y sesiones de clases).

Previamente al desarrollo de la UD, se afrontan tres situaciones problemáticas de otras UD que no afectan a la investigación. Es la oportunidad para presentar las fases de la MRPI (Rosa, 2015).

Tras este proceso se realizan las SP de la unidad didáctica en 10 grupos cooperativos configurados por los escolares (de 2 a 5 miembros). La evaluación de sus aprendizajes se efectúa a partir de las producciones grupales de la resolución de las situaciones problemáticas y de las individuales de la prueba final de evaluación.

El alumnado, para realizar el proceso de resolución, trabaja con los materiales de consulta ya mencionados (Rosa, 2015) según sus necesidades de información. Por ejemplo, para la SP 3 se disponía de recursos sobre cadena trófica y red trófica (Correig, Grau y Manuel, 1998); niveles tróficos (Alcalde, Fernández, Gómez y Méndez, 1999); biología y ecología del halcón peregrino, el cuco y la procesionaria (Rodríguez, 1991); etc. Por ello se puede decir que se atiende a la diversidad de los grupos. Este aspecto se considera esencial dado el carácter indagativo de la MRPI (Rodríguez-Arteche y Martínez-Aznar, 2016).

Las tareas que se abordan en las dos sesiones de resolución se asemejan a las propuestas por Jonassen (2011):

- 1.^a sesión: Se centra en las primeras fases de la resolución de situaciones problemáticas: análisis, reformulación, restricción y diferenciación de los aspectos y conceptos relevantes, elaboración de hipótesis, diseño del experimento y/o plan de investigación.
- 2.^a sesión: Cada grupo continúa la resolución para buscar datos y pruebas en la documentación complementaria, las orientaciones del profesor y su libro de texto, con el fin de analizarlos y extraer conclusiones respecto a la adecuación o no de sus hipótesis.

Tras las dos sesiones se fija un plazo de tiempo, de 2 a 4 días, para que los estudiantes elaboren el informe grupal sobre la base de las fases seguidas para su resolución de la situación problemática. Luego, sus correcciones se utilizarán a modo de retroalimentación. Durante estas sesiones el profesor realiza los andamiajes necesarios para que el alumnado resuelva los problemas por sí mismo (Hmelo-Silver, 2004; Savery, 2006; Ge, Planas y Er, 2010).

Posteriormente y tras la corrección de los informes, se emplea parte de una sesión para conclusiones e informaciones que mejoran los aprendizajes. Este es el momento en el que los alumnos ponen en común sus dificultades, los diferentes puntos de partida e hipótesis, explican sus resoluciones a los compañeros y dan argumentos de las razones que les han hecho tomar sus decisiones. Se trata de que compartan sus ideas, las complementen con las de sus compañeros y realicen aprendizajes contextualizados. Además, sus argumentaciones favorecen el aprendizaje significativo, el desarrollo de competencias comunicativas y la dimensión competencial del análisis de los resultados al coordinar sus conclusiones con los datos y pruebas hallados durante la investigación.

La redacción del informe y su exposición oral, que implican el aprendizaje y uso del lenguaje de la ciencia, son una parte esencial de la construcción de conocimiento (Chi *et al.*, 1994).

Antes de continuar, es preciso recalcar la necesaria coordinación con la profesora del grupo control para poder llevar a cabo el segundo objetivo de la investigación. Su metodología se basaba en el seguimiento del libro de texto y sus actividades (Barrio *et al.*, 2003). Entre ambos profesores se estableció una colaboración constante sobre contenidos mínimos, temporalización, prueba inicial, examen y registro de los diarios de clase del avance de la programación (Rosa, 2015).

Pruebas para la recogida y análisis de los datos

Para responder al primer interrogante se utilizan las resoluciones de las cuatro situaciones problemáticas de la UD (figura 1) elaboradas por los grupos cooperativos mediante la MRPI. El análisis de los

datos, en términos de las DC correspondientes a las fases de la metodología, y para todos los problemas, se realiza por medio de una plantilla (anexo 1) que se particulariza para cada uno de ellos. Como se observa, se establecen cinco niveles de respuesta, desde el 0 de nula resolución, hasta el cuarto para la máxima resolución.

También, para obtener más información del grado de resolución de las SP por parte de los grupos, al igual que en otros trabajos (Martínez Aznar y Varela, 2009), se determina un indicador de logro (IL) a partir de la media de las valoraciones obtenidas y su desviación típica en cada una de las DC. El resultado es un valor situado entre 0 y 4. Para su interpretación y de acuerdo con la plantilla mencionada, se considera que los valores entre 0 y 1 son desfavorables en cuanto al aprendizaje de los procedimientos, el 2 sería un valor medio, y se puede hablar de valores favorables para los niveles de resolución 3 y 4. Estos datos facilitan el análisis de la evolución del aprendizaje de los grupos de alumnos en cada DC a lo largo del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Para contrastar la hipótesis derivada de la segunda pregunta de investigación se utiliza el problema sobre ecología de la prueba final, propuesto por la profesora del GCON (figura 2) y que se implementa en ambas submuestras al finalizar las correspondientes unidades didácticas de ecología. Todo el alumnado debe cubrir los mismos objetivos, aunque haya trabajado con metodologías diferentes.

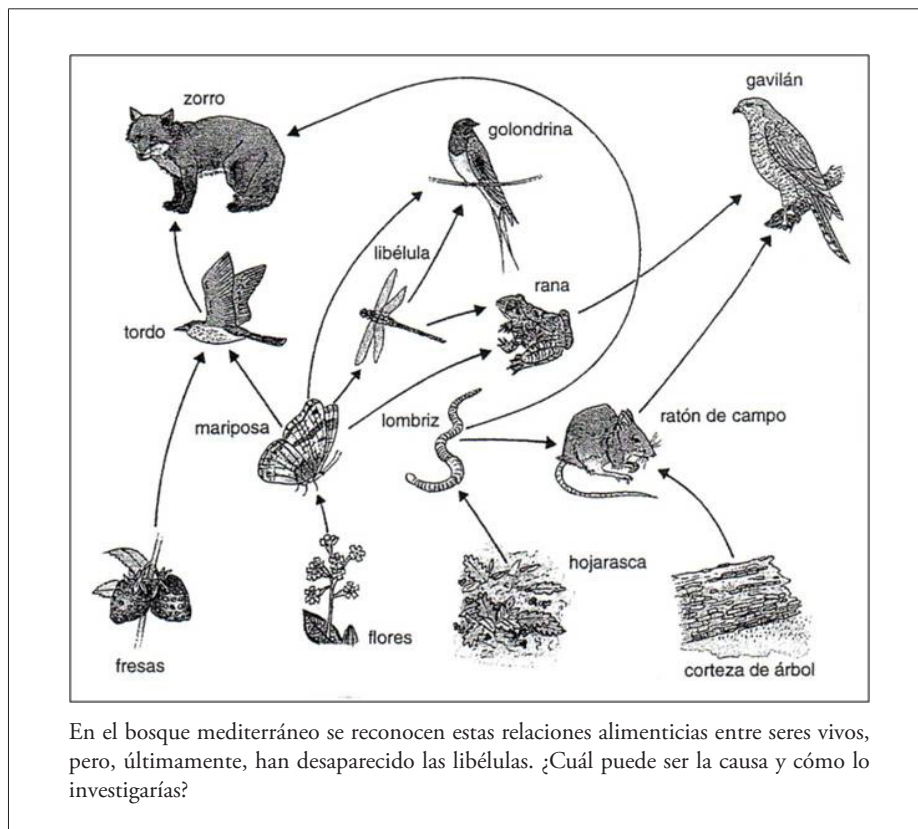


Fig. 2. Problema habitual en ecología utilizado en la prueba de evaluación para comparar la resolución de problemas en ambas submuestras (Correig, Grau y De Manuele, 1998)

Este problema aborda contenidos relacionados con la comprensión de las *cadena*s y *redes tróficas*, así como el manejo de la información que proporcionan para entender las relaciones alimenticias o tróficas que se establecen en un ecosistema. Para la obtención de los datos se describieron tres niveles de resolución de las producciones de los alumnos:

- Nivel 0: Respuesta «incorrecta», de nula o muy baja resolución por dar respuestas conceptualmente incoherentes o erróneas.
- Nivel 1: Respuesta «regular», de resolución media, con aciertos y errores o ausencia de conocimientos que impiden una valoración totalmente correcta.
- Nivel 2: Respuesta «acertada» y correcta a la luz de los conocimientos de la materia.

Para el análisis se realiza el test de la U de Mann-Whitney con el programa IMB SPSS Statistics 21. Este estadístico permite comparar resultados obtenidos por dos grupos pequeños de sujetos (inferior a 30 casos por grupo) e independientes (por ejemplo, grupo de control y experimental), cuando la variable dependiente tiene naturaleza ordinal y los datos son cualitativos y no se distribuyen de forma normal. La hipótesis nula que se contrasta será: *no existen diferencias significativas en la variable dependiente (resolución del problema habitual de ecología) en función de la variable independiente (GCON frente a GEXP).*

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados para cada interrogante del trabajo.

Primera pregunta de investigación

Para el estudio del aprendizaje de la MRPI por parte del alumnado del GEXP se evalúan sus cinco DC de la competencia científica, para las cuatro situaciones problemáticas, y el IL para poder apreciar su grado de progreso en la metodología (tabla 1).

Tabla 1
Indicador de logro y su desviación típica (σ) para los grupos cooperativos

<i>Dimensión competencial</i>	<i>Situación problemática 1</i>		<i>Situación problemática 2</i>		<i>Situación problemática 3</i>		<i>Situación problemática 4</i>	
	il	σ	il	σ	il	σ	il	σ
DC 1: Análisis cualitativo	3,90	0,30	3,50	0,67	3,60	0,80	3,70	0,64
DC 2: Formulación de hipótesis	3,60	1,20	2,90	1,14	3,80	0,40	2,70	1,00
DC 3: Diseño de la estrategia de resolución	2,70	1,27	3,20	0,98	2,70	1,27	3,00	1,00
DC 4: Resolución	2,60	1,36	2,00	1,18	2,60	1,02	3,00	1,26
DC 5: Análisis de los resultados	1,90	1,37	1,20	1,33	2,60	0,92	3,00	1,10

Del estudio del IL sobre el nivel medio alcanzado en las DC se extrae:

- DC 1 o análisis cualitativo. En las cuatro SP se alcanzan niveles medios de resolución iguales o mayores a 3,5 con una evolución prácticamente lineal. Esto se puede atribuir al entrenamiento previo realizado. La ligera bajada entre la primera y la segunda no se puede atribuir a una pérdida de competencia, sino a la variación del marco teórico o de las características y la propia naturaleza de esta SP. Por tanto, se puede pensar que la mayoría de los 10 grupos del GEXP presentan un adecuado dominio de la competencia. Estos resultados se suman a los obtenidos en otras

investigaciones (Varela, 1994; Ibáñez, 2003; Martínez Aznar e Ibáñez, 2005; Pavón y Martínez Aznar, 2014; Bárcena, 2015).

- DC 2 o formulación de hipótesis. Sus valores medios oscilan en torno a 3, lo que apoya la afirmación del desarrollo de esta DC en los grupos de alumnos. Sus niveles de resolución van en paralelo con la DC 1 en la primera y la segunda SP, pero en la tercera y la cuarta sufre variaciones. La DC 2 va íntimamente asociada con la DC 1 (Reyes, 1991) al estar condicionada por el marco teórico. No obstante, en un contexto biológico sí es posible que la DC 2 sea superior a la DC 1, como sucede en la situación problemática 3, debido a que son contextos más próximos al conocimiento de los estudiantes y que no requieren del dominio del marco teórico para plantear sus hipótesis (Martínez Aznar e Ibáñez, 2005). Finalmente, la SP 4 obtiene un valor medio superior a 2,5 pero inferior al resto de DC. Algo similar les sucede a los estudiantes de bachillerato al resolver SP de química (Bárcena, 2015). Esto puede deberse a la propia naturaleza de esta situación problemática, que dificulta el establecimiento de predicciones, pues los valores de las tres anteriores no indican que no estén desarrollando esta DC.
- DC 3 o diseño de la estrategia de resolución. Sus niveles medios en torno a 3 permiten reconocer que los grupos han desarrollado esta DC de forma aceptable. Estos resultados difieren de los obtenidos en otras investigaciones (Martínez Aznar e Ibáñez, 2005) para situaciones problemáticas de genética, donde la DC 3 obtenía valores medios finales superiores al resto.
- DC 4 o resolución de la situación problemática. Su evolución va en paralelo con la DC 3 en tres de las SP con valores ligeramente inferiores, con excepción de la segunda, en la que su valor es inferior. La causa estaría en su tipología, los estudiantes no sabían resolverla pues no podía llevarse a la práctica. No obstante, la evolución final asciende hasta valores medios de 3, lo que demuestra que esta DC alcanza valores aceptables. Los resultados inicialmente bajos respecto a la mayoría de las DC coinciden con los obtenidos para contenidos de física y química por otros autores (Varela, 1994; Bárcena, 2015), aunque en esta ocasión acaban en valores altos y similares a la DC 3 y la DC 5. Sin embargo, si se compara con experiencias en el contexto de la biología, los resultados no coinciden con los recogidos por otros investigadores (Martínez Aznar e Ibáñez, 2005), donde la DC 4 era resuelta mejor que la DC 3 por el alumnado, es decir, realizaban mejor la resolución del problema que la descripción de cómo iban a resolverlo.
- DC 5 o análisis de los resultados. Se observa una evolución desde valores medios entre el 1 y el 2 hasta valores finales de 3 similares a los de la DC 3 y la DC 4. Esto indica que los grupos van adquiriendo esta competencia a lo largo de la secuencia de SP y que es esta la que experimenta una mayor mejoría con el proceso de enseñanza-aprendizaje de la MRPI. Estos resultados difieren de los obtenidos en otras investigaciones (Varela, 1994; Martínez Aznar e Ibáñez, 2005), en las que la DC 5 obtiene los resultados más bajos de las cinco DC.

Para completar este análisis, se presenta en la figura 3 un ejemplo de cada DC representativa del nivel más elevado de resolución (nivel 4) realizado por cuatro de los grupos cooperativos de estudiantes de las distintas situaciones problemáticas.

<p><i>Ejemplo de la DC 1 representativo del 77,5 % de las respuestas (GEXP-Grupo 3-SP 2-DC 1)</i></p> <p>Queremos meter en un pequeño espacio, [...] animales que sean capaces de sobrevivir juntos para poder observar diferentes individuos que tengan diferentes características y que procedan de diferentes especies. [...] tenemos que tener en cuenta que cada animal comparte diferentes ecosistemas y hábitats naturales [...] ciertas especies de animales no pueden vivir juntas, [...] cuánto tarda en reproducirse cada animal [...] la cadena alimenticia [...]. ¿Cómo podríamos crear un pequeño espacio natural para observar a diferentes especies de animales con diferentes características, sin darles de comer y sobreviviendo?</p>
<p><i>Ejemplo de la DC 2 representativo del 57,5 % de las respuestas (GEXP-Grupo 8-SP 3-DC 2)</i></p> <p>Al desaparecer el cuco, la procesionaria aumentaría y disminuiría el número de pinos por haber más procesionarias. A las procesionarias no se las pueden comer. Por lo tanto, el pino disminuiría.</p>
<p><i>Ejemplo de la DC 3 representativo del 42,5 % de las respuestas (GEXP-Grupo 9-SP 4-DC 3)</i></p> <p>Un posible cálculo podría servir para averiguarlo: Sabiendo lo que se produce de carbono en un m²/año. Cada gramo de carbono que hay en un metro cuadrado por año es igual a 2,4 g de biomasa en el lugar determinado al año. Sabiendo el porcentaje final de herbívoros (al haber solo vacas) se calcula ese porcentaje en la biomasa. Lo que no se gasta en respiración ni excreción son los gramos de vaca. Se pasa a kilos y se divide entre los kg/vaca y obtendrás el n.º de vacas en tu prado.</p>
<p><i>Ejemplo de la DC 4 representativo del 30 % de las respuestas (GEXP-Grupo 10-SP 4-DC 4)</i></p> <p>Las operaciones que nos dan el resultado del problema son las siguientes: 1g de C/m²-año = 2,4 g de biomasa al año 200 g de carbono 2,4 g de biomasa al año 1 km² = 1.000.000 m de prado 1 año de tiempo 600 kg pesa cada vaca [Cálculos] La explicación de las operaciones que nos han permitido el resultado del problema es la siguiente: 1. [...] 8. Por último, los 8.400 kg de cantidad de vacas que mantiene el prado se dividen entre los 600 kg que pesa cada vaca y nos da que 14 vacas pueden mantener el prado como resultado del problema.</p>
<p><i>Ejemplo de la DC 5 representativo del 25 % de las respuestas: (GEXP-Grupo 9-SP 1-DC 5)</i></p> <p>Creemos que el águila imperial ibérica podría cambiar de ecosistema, pero siempre y cuando tenga unas características muy parecidas al del bosque mediterráneo y que no esté ocupado por otra especie que ocupa el mismo nicho ecológico y, también, que tengan su respectiva comida. Si queremos trasladarlo [...] podríamos llevarlo a California, Australia occidental y Sudáfrica en la zona del Cabo de Buena Esperanza [...].</p>

Fig. 3. Ejemplos representativos de las dimensiones competenciales

Segunda pregunta de investigación

Este interrogante se refiere a la comparación en el aprendizaje de los procedimientos de resolución de un problema habitual de ecología entre el GEXP y el GCON y se planteó como una hipótesis.

Su verificación se realiza mediante la resolución del problema de ecología (figura 2) propuesto en el examen de la UD, habitual en los textos escolares y utilizados en las metodologías transmisoras (Rosa, 2015). Los aspectos evaluados y los resultados del análisis estadístico con el Test de la U de Mann-Whitney se presentan en la tabla 2.

Tabla 2
Resultados comparativos de la resolución de un problema habitual en ecología entre el GEXP y el GCON. En cursiva se indican las respuestas correctas y los valores estadísticamente significativos ($p < 0,05$)

<i>Apartado a. ¿Hablan en términos de los conceptos «cadenas tróficas» o «red trófica»? ¿Comprenden los conceptos?</i>	<i>GEXP</i> 28 alumnos		<i>GCON</i> 58 alumnos		<i>U de Mann-Whitney</i>
	<i>N.º</i>	<i>%</i>	<i>N.º</i>	<i>%</i>	
V (Verdadero). <i>Hablan de red o cadenas tróficas o alimentarias y, en sus argumentaciones, se observa que comprenden correctamente lo que significan. Establecen relaciones correctas entre los diferentes componentes de la red trófica respecto al aumento o disminución de sus poblaciones como consecuencia de la desaparición de las libélulas.</i>	23	82,1	29	50,0	530,500 ($p = 0,003$)
R (Regular). En sus argumentaciones se observa una comprensión incompleta de estos conceptos.	4	14,3	15	25,9	
F (Falso). Otras respuestas incorrectas que indican no haber comprendido los conceptos.	1	3,6	14	24,1	
<i>Apartado b. ¿Analizan el problema con lógica y proponen posibles causas y acciones adecuadas de investigación para su resolución?</i>	<i>GEXP</i> 28 alumnos		<i>GCON</i> 58 alumnos		<i>U de Mann-Whitney</i>
	<i>N.º</i>	<i>%</i>	<i>N.º</i>	<i>%</i>	
V (Verdadero). <i>Analizan el problema con lógica y proponen posibles causas y acciones adecuadas de investigación para su resolución.</i>	20	71,4	23	39,7	489,000 ($p = 0,001$)
R (Regular). En sus argumentaciones se observa un análisis reducido y un tratamiento incompleto del problema. Proponen alguna causa, pero no cómo lo investigarían, o viceversa.	6	21,4	10	17,2	
F (Falso). Otras respuestas incorrectas que indican no saber cómo afrontar el problema para aportar posibles causas y tratar de investigarlas.	2	7,1	25	43,1	

Para apreciar el tipo de respuestas que aportan los estudiantes, a continuación, en la figura 4 se exponen dos ejemplos de resolución que se han considerado muy satisfactorios, uno del GEXP y otro del GCON.

Ejemplo 1 representativo del 64,3 % de las respuestas (GEXP-A28-P.F.1-P3)

La libélula es comida por la golondrina y por la rana que se come a la mariposa. La causa [...] puede ser que haya poca cantidad de mariposas y no tengan qué comer y por eso mueran unas pocas. Otra [...] que haya bastante cantidad de ranas y golondrinas [...], necesitan muchas libélulas para sobrevivir y entonces disminuya su cantidad.

La forma de investigarlo sería retirar de la red trófica a las golondrinas y a las ranas y entonces veríamos si la causa de disminución de libélulas es por culpa de la poca cantidad de mariposas. Si [...] no mueren libélulas porque haya poca cantidad de mariposas, será [...] que hay mucha cantidad de golondrinas y ranas. Entonces lo que haríamos sería ver si lo que produce muertes de libélulas es la gran cantidad de golondrinas y ranas.

Esto sería el experimento, que se resolvería viendo cuál es el motivo de muerte de libélulas.

También he dicho al principio del ejercicio una serie (de ideas) del análisis del problema. Mis hipótesis son que la muerte de las libélulas la provocan las golondrinas y las ranas porque son muchas las cantidades que hay de ellas al ser dos especies distintas.

Conclusión: La muerte de libélulas la producen las golondrinas y las ranas tal y como ya he dicho en mis hipótesis.

Ejemplo 2 representativo del 32,8 % de las respuestas (GCON-A46-PF1-P3)

[...] que el número de mariposas haya disminuido y las libélulas no tengan con qué alimentarse. Mi forma de investigarlo sería ir a preguntar a un centro de medio ambiente el número de mariposas/m² hace unos años y el de ahora. Así podría apreciar si mi teoría es válida.

Otra [...] que el número de gaviñanes haya disminuido y el número de ranas haya aumentado. La forma de investigarlo sería igual que la anterior.

También que el número de golondrinas haya aumentado y así, para alimentarse, han debido de comer libélulas. En este caso la forma de investigar sería la misma, puesto que me parece la más eficaz.

Fig. 4. Ejemplos representativos de resolución correcta del problema de ecología empleado en la prueba de evaluación

Tras el análisis pormenorizado de todas las respuestas de ambas muestras se encuentra que los alumnos que interpretan correctamente las relaciones tróficas entre las poblaciones representadas en la red trófica, el 80 % del GEXP frente al 50 % del GCON, olvidan utilizar los conceptos clave de cadenas tróficas o red trófica. No obstante, su adecuada interpretación indica un aprendizaje significativo de estos conceptos y hace pertinente la valoración positiva del problema.

Una mayor proporción de estudiantes del GEXP (71,4 % frente al 39,7 % del GCON) analiza el problema con lógica y proponen posibles causas y acciones de investigación para su resolución. Además, se observa, en general, que los alumnos del GEXP realizan un mayor desarrollo en sus respuestas para argumentar las causas y acciones que proponen.

También es destacable que el 64,3 % de los alumnos del GEXP, como se muestra en los ejemplos, hace referencia expresa a las fases o dimensiones competenciales de la resolución de un problema debido, por supuesto, a su aprendizaje a través de la MRPI y de las fases que se emplean para la resolución de las diferentes situaciones problemáticas.

CONCLUSIONES

El conjunto de conclusiones extraídas de este estudio se presentan siguiendo el mismo orden de los interrogantes planteados.

Respecto al primero, sobre el aprendizaje de dimensiones de la competencia científica presentes en la MRPI alcanzado por los alumnos del GEXP durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, se extraen las siguientes conclusiones:

- Los alumnos evolucionan de forma creciente en la construcción de competencias científicas, alcanzando de media niveles de resolución altos en todas las dimensiones: análisis cualitativo (DC 1), emisión de hipótesis (DC 2), diseño de estrategias de resolución (DC 3), resolución de la situación problemática (DC 4) y análisis de resultados (DC 5).
- Los niveles de competencia más elevados se obtienen en el análisis cualitativo de los problemas (DC 1), seguido de la formulación de hipótesis (DC 2), aunque con altibajos dependientes de la situación problemática, y a continuación con niveles similares el diseño de estrategias de resolución (DC 3), la resolución del problema (DC 4) y el análisis de resultados (DC 5).
- Las dimensiones competenciales que más evolucionan con la práctica de la MRPI a lo largo de la secuencia de problemas son la DC 5, de forma muy marcada, y la DC 4.

Así, se puede decir que los alumnos de 2.º de ESO del GEXP se han beneficiado del trabajo con la MRPI, alcanzando niveles óptimos de competencia científica. Estos resultados apoyan los encontrados en otras investigaciones, tanto del grupo de investigación como fuera de él. Por tanto, se puede considerar que la UD *Materia y energía en los ecosistemas* es un buen recurso para orientar el aprendizaje de capacidades científicas para alumnos de 13 y 14 años.

En relación con el segundo interrogante respecto a la comparación del aprendizaje de competencias entre el GEXP y el GCON para la resolución de problemas habituales de ecología, se concluye que los resultados sobre la comprensión y el manejo de las cadenas y redes tróficas tienen una mayor calidad científica entre los estudiantes del GEXP, estadísticamente significativa, produciéndose el cambio conceptual y desarrollando capacidades más completas y elaboradas que los alumnos del GCON, que han aprendido por medio de una metodología más tradicional.

En síntesis, la metodología basada en problemas con la que trabajan los alumnos del GEXP, al favorecer su aprendizaje de las dimensiones de la competencia científica, les permite afrontar los problemas habituales de ecología de una forma más metódica y completa. Por el contrario, una enseñanza centrada en el aprendizaje de conceptos, más propia de metodologías de corte tradicional, no parece que logre promover un desarrollo similar de la competencia científica.

Por supuesto, se debe seguir investigando con la metodología indagativa implementada, pero este estudio aporta pruebas empíricas que ponen de manifiesto su eficacia en el área de la ecología para que los profesores puedan utilizarla en sus aulas.

La necesidad de formación del profesorado en esta metodología es un factor esencial para favorecer el andamiaje de los conocimientos de ecología y de las dimensiones de la competencia científica en el alumnado, así como la implementación de situaciones problemáticas de ecología (Rivarosa y Perales, 2006) o para el tratamiento de problemas abiertos contextualizados de otros ámbitos, como podría ser en el laboratorio (Crujeiras y Jiménez Aleixandre, 2015). En este sentido, en este trabajo se aporta una estrategia didáctica útil, en línea con los requerimientos planteados por otros autores. No obstante, no se aborda el aprendizaje de los contenidos conceptuales por parte de los estudiantes por ser objeto de un futuro trabajo.

Esta investigación contribuye con pruebas a acortar la brecha entre la teoría y la práctica; además, enriquece el cuerpo de conocimiento de la didáctica de las ciencias aportando nueva información sobre la MRPI y una UD de ecología para favorecer el cambio en las aulas hacia metodologías más activas e indagativas que potencien la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-EL-KHALICK, F.; BOUJAOUDE, S.; DUSCHL, R.; LEDERMAN, N.G.; MAMLOK-NAAMAN, R.; HOFSTEIN, A.; TREAGUST, D. y TUAN, H-L. (2004). Inquiry in Science Education: International perspective. *Science Education*, 88, 397-419.
<https://doi.org/10.1002/sce.10118>
- ALCALDE, A.; FERNÁNDEZ, B.; GÓMEZ, J.M.^a y MÉNDEZ, M.^aJ. (1999). *Darwin. Biología y Geología. Cuarto de Educación Secundaria*. Madrid: SM.
- ARNOLD, J.C.; KREMER, K. y MAYER, J. (2013). Understanding students' experiments- What kind of support do they need in inquiry tasks? *International Journal of Science Education*, 36(16), 2719-2749.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2014.930209>
- BÁRCENA, A.I. (2015). *Estudio de la influencia de una metodología investigativa de resolución de problemas en el aprendizaje de la Química en alumnos de bachillerato*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense, Madrid.

- BARRIO, J.; BERMÚDEZ, M.^aL.; FAURE, A. y GÓMEZ, M.^aF. (2003). *Proyecto Exedra. Ciencias de la Naturaleza. Segundo de Educación Secundaria*. Navarra: Oxford Educación.
- BEGON, M.; HARPER, J.L. y TOWNSEND, C.R. (1988). *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. Barcelona: Ediciones Omega.
- BERMÚDEZ, G. y DE LONGHI, A.L. (2008). La Educación Ambiental y la Ecología como ciencia. Una discusión necesaria para la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 7 (2), 275-297. http://rec.uvigo.es/volumenes/volumen7/ART1_Vol7_N2.pdf
- BRAVO, B. y JIMÉNEZ ALEIXANDRE, P. (2010). ¿Salmones o sardinas? Una unidad para favorecer el uso de pruebas y la argumentación en ecología. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 63, 19-25.
- CAÑAL DE LEÓN, P. (2004). La alfabetización científica: ¿necesidad o utopía? *C&E: Cultura y educación*, 16 (3), 245-258. <https://doi.org/10.1174/1135640042360951>
- CERVELLÓ, J. (2009). El informe Rocard: una alternativa para la formación científica de la ciudadanía. En *Educación Científica «Ahorá»: El Informe Rocard*. Colección Aulas de Verano. Serie Principios. Madrid: MEC.
- CHI, M.T.H.; LEEUW, N.; CHIU, M. y LAVANCHER, C. (1994). Eliciting Self-Explanations Improves Understanding. *Cognitive Science*, 18, 439-477. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1803_3
- CORREIG, T.M.; GRAU, R. y DE MANUEL, J. (1998). *Biología y Geología. Cuarto de Educación Secundaria*. Barcelona: Teide.
- CRUJEIRAS, B. y JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2015). Desafíos planteados por las actividades abiertas de indagación en el laboratorio: articulación de conocimientos teóricos y prácticos en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 33 (1), 63-84. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1469>
- DEWEY, J. (1938). *Experience and Education*. New York: Macmillan.
- ENGLISH, M.C. y KITSANTAS, A. (2013). Supporting Student Self-Regulated Learning in Problem- and Project-Based Learning. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 7 (2), 128-150. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1339>
- ESPAÑA, E. y PRIETO, T. (2009). Educar para la sostenibilidad: el contexto de los problemas socio-científicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 345-354. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2009.v6.i3.03
- GE, X.; PLANAS, L.G. y ER, N. (2010). A Cognitive Support System to Scaffold Students Problem-based Learning in a Web-based Learning Environment. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 4 (1), 30-56. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1093>
- GONZÁLEZ, A. y PUIG, B. (2017). Analizar una problemática ambiental local para practicar la argumentación en clase de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 16, (2), 280-297. http://rec.uvigo.es/volumenes/volumen16/REEC_16_2_6_ex1139.pdf
- GONZÁLEZ DEL SOLAR, R. y MARONE, L. (2001). The «freezing» of science: consequences of the dogmatic teaching of Ecology. *BioScience*, 51 (8), 683-686. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0683:tfosco\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0683:tfosco]2.0.co;2)
- HARLEN, W. (2013). *Evaluación y Educación en Ciencias Basada en la Indagación: Aspectos de la Política y la Práctica*. Trieste: Global Network of Science Academies (IAP) Science Education Programme (SEP).

- HMELO-SILVER, C.E. (2004). Problem based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16 (3), 235-266.
<https://doi.org/10.1023/b:edpr.0000034022.16470.f3>
- HMELO-SILVER, C.E. (2012). International Perspectives on Problem-based Learning: Contexts, Cultures, Challenges, and Adaptations. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 6 (1), 10-15.
<https://doi.org/10.7771/1541-5015.1310>
- HOGAN, K. (2000). Assessing students' systems reasoning in ecology. *Journal of Biological Education*, 35(1), 22-28.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655731>
- IBÁÑEZ, M.^aT. (2003). *Aplicación de una metodología de resolución de problemas como una investigación para el desarrollo de un enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad en el currículo de Biología de Educación Secundaria*. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad complutense.
- JONASSEN, D.H. (2011). Supporting Problem Solving in PBL. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 5 (2), 95-119.
<https://doi.org/10.7771/1541-5015.1256>
- KILPATRICK, W.H. (1918). «The Project Method». *Teachers College Record* 19 (4), 319-335. <http://www.tcrecord.org/library>
- KORFIATIS, K. (2005). Environmental education and the science of ecology: exploration of an uneasy relationship. *Environmental Education Research*, 11 (2), 235-248.
<https://doi.org/10.1080/1350462042000338388>
- LUFFIEGO, M. y RABADÁN, J.M. (2000). La evolución del concepto de Sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (3), 473-486.
<https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21701/21535>
- MARTÍNEZ AZNAR, M.^aM. y IBÁÑEZ, M.^aT. (2005). Solving problems in genetics. *International Journal of Science Education*, 27 (1), 101-121.
<https://doi.org/10.1080/09500690410001673801>
- MARTÍNEZ AZNAR, M.^aM. y VARELA, M.^aP. (2009). La resolución de problemas de energía en la formación inicial de maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 27 (3), 343-360.
<https://core.ac.uk/download/pdf/38989956.pdf>
- MEC (1990). *Ley Orgánica 1/1990, de 3 de octubre, de Ordenación General del Sistema Educativo (LOGSE)*. BOE de 4 de octubre de 1990.
<https://www.boe.es/boe/dias/1990/10/04/pdfs/A28927-28942.pdf>
- PAVÓN MARTÍNEZ, F. y MARTÍNEZ AZNAR, M.^aM. (2014). La metodología de resolución de problemas como investigación (MRPI): una propuesta indagativa para desarrollar la competencia científica en alumnos que cursan un programa de diversificación. *Enseñanza de las Ciencias*, 32 (3), 469-492.
<https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.5565%2Frev%2Fensciencias.1290>
- PECORE, J.L. (2013). Beyond Beliefs: Teachers Adapting Problem-based Learning to Preexisting Systems of Practice. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 7 (2), 7-33.
<https://doi.org/10.7771/1541-5015.1359>
- PRINCE, M. y FELDER, R.M. (2007). The Many Faces of Inductive Teaching and Learning. *Journal of College Science Teaching*, 36 (5), 14-20. <https://www.nsta.org/publications/news/story.aspx?id=53403>
- REYES, J.V. (1991). *La resolución de problemas de Química como investigación: una propuesta didáctica basada en el cambio metodológico*. Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco.

- RHEM, J. (1998). Problem-Based Learning: An Introduction. *The National Teaching & Learning FORUM*, 8(1), 1-7. <http://www1.udel.edu/pbl/deu-june2006/supplemental/NTLF-PBL-introduction.pdf>
- RIVAROSA, A. y PERALES, F.J. (2006). La resolución de problemas ambientales en la escuela y en la formación inicial de maestros. *Revista Iberoamericana de Educación*, 40, 111-124.
- ROCARD, M.; CSERMELY, P.; JORDE, D.; LENZEN, D.; WALWERG-HERIKSSON, H. y HEMMO, V. (2007). *Informe Rocard. Science Education Now: A renewed pedagogy for the future of Europe*. Brussels: European Commission. https://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf
- RODRÍGUEZ ARTECHE, I. y MARTÍNEZ-AZNAR, M.^aM. (2016). Introducing Inquiry-Based Methodologies during Initial Secondary Education Teacher Training Using an Open-Ended Problem about Chemical Change. *Journal Chemical Education*, 93, 1528-1535. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b01037>
- RODRÍGUEZ ARTECHE, I.; MARTÍNEZ-AZNAR, M.^aM. y GARITAGOITIA CID, A. (2016). La competencia sobre la planificación de investigaciones en 4.º de ESO: un estudio de caso. *Revista Complutense de Educación*, 27(1), 329-351. https://doi.org/10.5209/rev_rced.2016.v27.n1.46356
- RODRÍGUEZ, F. (1991). *Enciclopedia Salvat de la fauna ibérica y europea. El hombre y la tierra. Tomos: 1, 4, 8, 9, 19 y 22*. Barcelona: Salvat.
- ROESCH, F.; NERB, J. y RIESS, W. (2015) Promoting Experimental Problem-solving Ability in Sixth-grade Students Through Problem-oriented Teaching of Ecology: Findings of an intervention study in a complex domain. *International Journal of Science Education*, 37 (4), 577-598. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.1000427>
- ROSA, D. (2015). *Desarrollo de una propuesta didáctica sobre contenidos de ecología en 2.º de ESO a partir de situaciones problemáticas abiertas*. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad complutense. <http://eprints.ucm.es/40345/1/T38080.pdf>
- SAVERY, J.R. (2006). Overview of Problem-based Learning: Definitions and Distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1 (1), 5-15. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1002>
- SAVERY, J.R. y DUFFY, T.M. (2001). *Problem Based Learning: An instructional model and its constructivist framework*. Center for Research on Learning and Technology. Bloomington: Indiana University.
- SIMONNEAUX, L. (2001). Role-play or debate to promote students argumentation and justification on an issue in animal transgenesis, *International Journal of Science Education*, 23(9), 903-927. <https://doi.org/10.1080/09500690010016076>
- VARELA, M.^aP. (1994). *La resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias. Aspectos didácticos y cognitivos*. Tesis Doctoral, Madrid: Universidad Complutense.
- WONG, K.K.H. y DAY, J.R. (2008). A Comparative Study of Problem-Based and Lecture-Based Learning in Junior Secondary School Science. *Research in Science Education*, 39, 625-642. <https://doi.org/10.1007/s11165-008-9096-7>

ANEXO 1

Ejemplos de criterios de evaluación de dimensiones competenciales

DC 2: Emisión de hipótesis (una o varias)

Nivel 0: No saben / No contestan.

Nivel 1: Irrelevante / Incoherente, aunque estén bien expresadas como hipótesis.

Nivel 2: Hipótesis bien expresadas, pero con argumentos insuficientes.

Nivel 3: Bien las ideas, pero mal expresadas en términos de hipótesis.

Nivel 4: Hipótesis bien expresadas y perfectamente argumentadas.

DC 3: Elaboración de una estrategia de resolución

Nivel 0: No saben / No contestan.

Nivel 1: Irrelevante / Incoherente.

Nivel 2: La estrategia que plantean tiene fundamento. Las variables a investigar son adecuadas, pero incompletas. No indican los pasos que seguirían en su investigación.

Nivel 3: La estrategia que plantean tiene fundamento. Las variables a investigar son adecuadas y completas. No indican los pasos que seguirían en su investigación o solo indican algunos de ellos.

Nivel 4: La estrategia que plantean tiene fundamento. Las variables a investigar son adecuadas y completas. Indican todos los pasos secuenciados que seguirían en su investigación.

Problem-solving in Ecology for Secondary Education

David Rosa Novalbos, M^a Mercedes Martínez-Aznar
Departamento de Didáctica de Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas
Facultad de Educación - Centro de Formación del Profesorado
Universidad Complutense de Madrid
darosa@ucm.es, mtzaznar@ucm.es

This paper is part of a research about the use of the inquiry methodology psmr, known as Problem-Solving Method as Research. It is intended for an experimental group of 28 students of Ecology, aged between 13 and 14, in the 2nd course of Secondary Education at a public high school in Madrid.

This methodology is supported by a large team with many years of experience in research, which ensures the effectiveness of the learning process in numerous fields and scientific contents in all educational levels, especially in ecology (Rosa, 2015).

This methodology tackles with the acquisition of scientific competence which is inextricably related to the purpose of checking whether the experimental group (expg) is able to learn the characteristic competence dimensions, that is, cd 1: qualitative analysis of the problem; cd 2: hypothesis formulation; cd 3: design of the resolution strategy; cd 4: resolution; cd 5: analysis of the results. Moreover, the learning outcomes of this group, that is, typical problems in ecology, are compared to those obtained in another control group (cong), including 58 students who have been working by means of a traditional approach.

This study attempts to answer two important questions:

1. Will the students of the expg be able to learn the procedures of the psmr included in the resolution of problematic situations, making it possible for them to reach high levels of solution in every scientific dimension?
2. Will differences between expg and cong who have followed different approaches be seen when dealing with the solution of problems in an exam?

It was necessary to design the Didactic Unit Matter and Energy in the Ecosystems, based on the resolution of contextualized open-ended problems.

All the problematic situations must be solved by means of cooperative groups of students from the expg, who are trained in the psmr. The students work with reference materials which are given to them in reply to their request and according to the information needed to make progress in their tasks.

This research is included within the model of investigation and action where the teacher plays the double role of teacher and researcher. The teacher's role is that of guide and facilitator of the student's learning, favouring scaffolding. Moreover, the expg teacher must be at all times coordinated with the teacher of the cong so as to avoid differences other than those derived from the methodology itself.

Its design is quasi-experimental and it uses techniques of both qualitative and quantitative analyses to study and compare the learning of both groups. Drawing on the reports of problem-solving situations, the learning outcomes of the expg were analysed in terms of competence dimensions and later compared to the resolution achievements in a closed task done by the cong, who were instructed with a traditional approach.

The data collected from the analysis of the group reports about open problems as well as the results from the individual reports highlight that expg reaches optimum levels in all the dimensions of the scientific competence by solving those ecological problems in a more complete and methodical way than those of the cong.

The methodology the expg uses allows students to address daily ecological problems in a more complete and methodical way as it makes the learning process of the dimensions of the scientific competence much easier. On the contrary, a teaching methodology focused on the learning of concepts, typical of traditional educational approaches as those used by the cong, seems not to stimulate such a development of the scientific competence.

It is obvious that further research on psmr should be carried out, but this paper aims at providing empirical evidence for its effectiveness in the ecology field so that teachers may implement their teachings in class.

This research contributes to reduce the gap between theory and practice. At the same time, it also enhances the corpus of the didactics of science by adding new information about psmr. Furthermore, this teaching unit of ecology favours a transition towards more active approaches, which, in turn, foster the teaching and learning of sciences in general.